



Dynamiques des ACTivités mARItimes (DACTARI) : Base d'Information Géographique et Temporelle en support à la connaissance et à la scénarisation

Damien Le Guyader, Matthieu Le Tixerant, Françoise Gourmelon

► To cite this version:

Damien Le Guyader, Matthieu Le Tixerant, Françoise Gourmelon. Dynamiques des ACTivités mARItimes (DACTARI) : Base d'Information Géographique et Temporelle en support à la connaissance et à la scénarisation . [Rapport de recherche] CNRS LETG; TerraMaris. 2016, pp.56. hal-01391071

HAL Id: hal-01391071

<https://hal.science/hal-01391071>

Submitted on 2 Nov 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Programme « Quels littoraux pour demain ? » (2013)

**Dynamiques des ACTivités mARItimes (DACTARI) :
Base d'Information Géographique et Temporelle en
support à la connaissance et à la scénarisation**

Coordinatrice : Françoise Gourmelon

**CNRS, LETG-Brest, UMR 6554 CNRS,
Institut Universitaire Européen de la Mer**

Equipe scientifique :

Damien Le Guyader*, Iwan Le Berre**, Laurence David*, Mathias Rouan*

***CNRS, LETG-Brest, UMR 6554 CNRS
Université de Brest, LETG-Brest, UMR 6554 CNRS

David Brosset, Cyril Ray, Laurent Etienne

Institut de Recherche de l'Ecole Navale, Lanvéoc-Poulmic

Partenaires associés :

**Comité Départemental des Pêches du Finistère : Solenne Le Guennec,
Parc Naturel marin d'Iroise : Philippe Le Niliot
Bureau d'Etude Terra Maris : Matthieu Le Tixerant**

Rapport final

(octobre 2016)

Rédacteurs : D. Le Guyader, M. Le Tixerant, F. Gourmelon

Cette étude a fait l'objet d'une convention entre la Fondation de France et le CNRS. En plus de ces deux financeurs, elle a bénéficié du soutien de la Région Bretagne (volet 3) et du Labex Mer (volet 1).

Sommaire

Introduction.....	4
Volet 1 : Déroulement spatio-temporel de l'activité de pêche à la drague en rade de Brest par traitement de données AIS.....	6
1.1. Contexte	6
1.2. Etat de l'art	7
1.3. Données et méthodes	9
1.3.1. Les données AIS	10
1.3.2. Identifier le métier pratiqué chaque jour par navire	12
1.3.3. Estimer les positions ou segments supposés de pêche	13
1.3.4. Identifier les zones de pêche	13
1.3.5. Evaluer les résultats	14
1.4. Résultats	15
1.4.1. Structurer la base de données AIS	15
1.4.2. Identifier le métier pratiqué chaque jour par navire	16
1.4.3. Estimer les positions AIS supposées en pêche.....	18
1.4.4. Identifier les zones de pêche et caractériser l'intensité de pratique.....	19
1.4.5. Validation	23
1.5. Conclusion	24
2. Volet 2 : Faisabilité de la démarche conduisant à l'estimation des impacts cumulés sur le territoire du PNMI, application sur certains enjeux en fonction des connaissances et données disponibles.	26
2.1. Contexte	26
2.2. Etat de l'art	26
2.3. Données et méthodes	31
2.3.1. Identification des pressions exercées sur les composantes de l'écosystème à dire d'experts .	31
2.3.2. Inventaire de l'information géographique.....	32
2.4. Résultats	33
2.4.1. Interactions « activités - pressions - composantes de l'écosystème »	33
2.4.2. Dictionnaire d'information géographique	39
2.5. Conclusion	39
3. Volet 3 : Valorisation, transfert, développement	41
3.1. Valorisation scientifique	41
3.2. Evaluation des résultats par les gestionnaires	42
3.3. Transfert vers l'entreprise	43
4. Bibliographie.....	45
Annexe 1 : Volet 1	49
Annexe 2 : Volet 2	51

Introduction

Le projet « Dynamiques des activités maritimes : Base d'Information Géographique et Temporelle en support à la connaissance et à la scénarisation » (DACTARI) avait pour objectif de répondre à plusieurs enjeux de gestion côtière reposant tout ou partie sur la construction de visions partagées des situations actuelles et futures. Sur deux démarches complémentaires (sectorielle en rade de Brest et multisectorielle en mer d'Iroise), une Base d'Information Géographique et Temporelle (BIG-T) (Le Guyader, 2012, 2013; Gourmelon *et al.*, 2013, 2014) a été mobilisée à des échelles de temps et d'espaces variables en fonction des objectifs des deux partenaires du projet : le Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins du Finistère (CDPMEM29) et le Parc Naturel Marin d'Iroise (PNMI).

Le projet comprend deux volets thématiques et un volet transversal (Figure 1).

- Le Volet 1 mobilise les données de *l'Automatic Identification System* (AIS) afin de fournir au gestionnaire (le CDPMEM29) une information spatialisée relative au déroulement d'une activité emblématique en rade de Brest (la pêche à la drague) permettant à terme d'envisager, par une démarche de géoprospective, les conséquences d'éventuelles mesures de gestion spatialisées.
- Le Volet 2 avait un double objectif : 1) la transposition de la démarche de modélisation spatio-temporelle des activités encadrées mise au point sur la rade de Brest (Le Guyader, 2012 ; Gourmelon *et al.*, 2013, 2014) à la mer d'Iroise, en collaboration avec le PNMI et le projet CARTAHU (Peuziat et Le Berre, 2014)¹, 2) l'évaluation exploratoire de la démarche des impacts cumulés (Halpern *et al.*, 2007, 2008) en termes d'intérêt pour le gestionnaire (PNMI) et de faisabilité en mer d'Iroise (disponibilité des données et des connaissances).
- Le Volet 3, transversal aux deux précédents, avait pour objectif d'identifier les résultats qui suscitent l'intérêt des gestionnaires de manière à transférer une partie des outils méthodologiques développés vers un bureau d'étude. Ce volet s'inscrit en effet dans une démarche de recherche-développement menée en étroite collaboration avec Terra Maris².

¹ CARTAHU (Fondation de France, 2011-2014) a étudié diverses méthodologies permettant la spatialisation des activités et usages maritimes notamment non encadrées.

² <http://www.terramaris.fr/>

1-La pêche à la drague en rade de Brest (décembre 2013-juin 2015)

- Connaissance fine du déroulement spatio-temporel de l'activité à partir des données de l'AIS
- Participants: LETG, CDPMEM29, IRENaV

2- Le partage de l'espace maritime en Iroise (décembre 2014-décembre 2015)

- Diagnostic et prospective : condition d'estimation d'un impact cumulé sur le Parc Naturel marin d'Iroise
- Participants: LETG, Parc Naturel Marin d'Iroise

3- Valorisation, transfert, développement (décembre 2014-septembre 2016)

- Protocoles standardisés, conception d'outils logiciels...
- Participants : LETG, Terra Maris

Figure 1. Volets du projet DACTARI

Volet 1 : Déroulement spatio-temporel de l'activité de pêche à la drague en rade de Brest par traitement de données AIS

- Décembre 2013-juin 2015
- Participants: UMR LETG, Comité Départemental des Pêches du Finistère (CDPMEM29), Institut de Recherche de l'Ecole Navale

1.1. Contexte

Des estimations fines de l'effort de pêche sont nécessaires dans la perspective de caractériser les impacts potentiels de certains métiers sur les espèces et les habitats, et d'apporter des informations pertinentes pour la gestion des ressources. Depuis quelques années, les systèmes de surveillance satellitaire des navires, initialement destinés à la sécurité (*Automatic Identification System* – AIS) ou au contrôle des navires (*Vessel Monitoring System* – VMS), constituent potentiellement une source d'information précieuse pour l'analyse de la distribution spatio-temporelle de certaines activités de pêche à multi-échelles (Mills *et al.*, 2007).

Dans une optique de suivi et d'anticipation, le CDPMEM29 souhaite caractériser les métiers de la drague en rade de Brest (coquille Saint-Jacques, praire, pétoncle noir et huître plate). Il participe à ce titre à une réflexion régionale visant à caractériser, dans le temps et l'espace, l'activité de pêche à la drague, dans la perspective de connaître l'impact des différents engins sur les bancs de maërl. La connaissance du déroulement de l'activité, des points de vue spatial, temporel et quantitatif, constitue en effet un enjeu pour la profession du fait de son impact potentiel sur certains habitats d'intérêt communautaire (les herbiers de zostères et le maërl) dont la préservation est au cœur de la démarche Natura 2000, notamment en rade de Brest.

Depuis octobre 2011, les navires possédant une licence « Mollusques bivalves » en rade de Brest sont équipés d'émetteurs AIS. Cette disposition appliquée aux navires de 12 m ou moins est exceptionnelle en Europe, car seuls les navires de pêche professionnelle de plus de 15 mètres naviguant dans les eaux sous juridiction d'un Etat membre de l'Union Européenne sont contraints d'embarquer un système AIS¹. Cette situation locale résulte d'un conflit d'usage entre pêcheurs à la drague et militaires (Le Guyader, 2012). Les données AIS des bateaux en situation de pêche sont utilisées en temps réel par le CDPMEM29 pour le contrôle de l'activité.

L'objectif du volet 1 du projet DACTARI est d'exploiter les données AIS archivées par le CDPMEM29 au cours de deux années consécutives afin d'identifier les zones de pêche par métier de la drague et de caractériser l'intensité de pratique dans le temps.

¹ Directive 2011/15/UE de la commission européenne du 23 février 2011

1.2. Etat de l'art

Depuis l'adoption du VMS par l'Union Européenne, des avancées significatives ont été réalisées dans le suivi et le contrôle des navires de pêche commerciale (Hintzen *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2010; Piet *et al.*, 2007; Russo *et al.*, 2014; Tidd *et al.*, 2014). Ce système de surveillance des navires par satellite a été instauré depuis les années 2000 (EC, 2002; Piet *et al.*, 2007) pour le contrôle de la pêche commerciale dans le cadre de la politique commune de la pêche (PCP). Le VMS est obligatoire pour tous les navires de pêche de plus de 24 mètres depuis le 1er janvier 2004, de plus de 15 mètres depuis le 1er janvier 2005, et de plus de 12 mètres depuis le 1er janvier 2012 (EC, 2003, 2009). Cette réglementation ne s'applique pas aux navires opérant exclusivement dans la bande des 12 milles marins ou ne passant pas plus de 24 heures en mer (Delfour-Samama et Leboeuf, 2014). Le VMS fournit des rapports sur la position d'un navire à des intervalles de temps réguliers d'une à deux heures (Hintzen *et al.*, 2012). Des dispositifs électroniques ou « boîtes bleues » installés à bord des navires envoient automatiquement des données (longitude, latitude, vitesse, cap) à un satellite qui les transmet au centre de surveillance des pêches (CSP) *via* une station de réception terrestre. L'analyse des données VMS est généralement réalisée à une résolution spatiale allant de 1 à 10 km en raison de leur faible fréquence de transmission. De plus, pour des raisons de confidentialité, l'accès aux données VMS brutes est restreint (Lee *et al.*, 2010). Par exemple en France, leur accès est réservé à la DPMA (Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture) et à l'Ifremer.

Depuis quelques années, les données issues de l'AIS, système initialement prévu pour l'aide à la navigation et la sécurité maritime, constituent une ressource très utile pour décrire la distribution spatiale et temporelle de certaines activités maritimes à multi-échelle (Koehn *et al.*, 2013; Le Guyader *et al.*, 2011; Pelot et Plummer, 2010; Sheldermine, 2015). Dans le cadre de la convention SOLAS, l'Organisation Maritime Internationale (OMI) impose depuis 2002 à certains navires de disposer d'AIS : les navires d'une jauge brute égale ou supérieure à 300 tonneaux (tjb) qui effectuent des voyages internationaux, les navires de charge d'une jauge brute égale ou supérieure à 500 (tjb) qui n'effectuent pas de voyages internationaux, les navires de passagers quelles que soient leurs dimensions. Cette disposition est complétée par la directive (2011/15/UE) concernant les navires de pêche professionnelle de plus de 15 mètres naviguant dans les eaux sous juridiction d'un Etat membre de l'Union Européenne. L'AIS repose sur la transmission à très haute fréquence automatisée de messages radios (27 messages primaires) entre navires et entre navires et centres de surveillance maritime. Afin d'étendre la couverture de réception de l'AIS au-delà des 40 milles marins, le système de réception terrestre est complété par un système satellitaire en orbite terrestre basse (Høye *et al.*, 2008). Les messages AIS, transmis à intervalles de temps variables selon la vitesse du navire (de 2 secondes à 3 minutes pour l'AIS terrestre), contiennent des informations statiques qui identifient le navire émetteur, des informations dynamiques qui rendent compte de sa position et de son déplacement et des informations spécifiques au trajet effectué. L'accès relativement aisé aux données AIS archivées, associé à une couverture quasi-totale des mers côtières et hauturières grâce au développement de l'AIS satellitaire, ouvrent, depuis peu, des opportunités de recherche pour spatialiser les activités de pêche à l'échelle globale (Souza *et al.*, 2016), à l'échelle européenne (Natale *et al.*, 2015; Vespe *et al.*, 2016) et à l'échelle régionale (McCauley *et al.*, 2016). Ces recherches décrivent les activités de pêche par type d'engins.

Indépendamment de la nature du système d'identification (AIS ou VMS), la caractérisation des activités de pêche commerciale par les données archivées vise à :

- (i) Assigner un métier à chaque navire pour chaque période de pêche

- (ii) Identifier les positions des navires estimés en pêche
 - (iii) Déterminer les zones de pêche
 - (iv) Calculer l'intensité de pratique
- (i) Les données VMS/AIS ne renseignent pas le métier pratiqué par chaque navire lors d'une marée. L'assignation d'un engin voir d'un métier à chaque navire pour chaque période de pêche est réalisée en associant les données aux journaux de bords (*logbooks*) (Hintzen *et al.*, 2012; Jennings et Lee, 2012; Russo *et al.*, 2011). Ces journaux contiennent des informations relatives à la localisation déclaratives des zones de pêche (habituellement dans les rectangles statistiques ICES de 1° de longitude, 0.5° de latitude), aux débarquements et aux caractéristiques physiques des navires (taille du navire, puissance...) (Gerritsen et Lordan, 2011).
- (ii) Dans la mesure où les données de géolocalisation ne sont pas associées à des d'informations explicites concernant l'action menée au cours du trajet, l'utilisation de données VMS/AIS pour identifier des zones de pêche et estimer l'intensité de pratique dépend donc de la capacité à distinguer les activités de pêche et de non-pêche (transit, dérive...). Pour y parvenir, la vitesse du navire est généralement utilisée pour déterminer l'action de pêche (Campbell *et al.*, 2014; Mills *et al.*, 2007). Une revue des travaux associés à cette méthode est proposée par Lee *et al.* (2010) tout type d'engins confondu. Relativement simple à mettre en œuvre et basée sur des connaissances d'experts, elle consiste à élaborer des requêtes à partir de la vitesse instantanée contenue dans les données, ou à partir de la vitesse moyenne calculée entre deux positions successives. Gerritsen et Lordan (2011) démontrent toutefois que les différences entre les vitesses instantanées et les vitesses calculées peuvent être considérables en fonction de la fréquence d'émission des données. D'autres méthodes, relevant d'analyses multivariées de la vitesse et de l'angle de déviation moyen (Mills *et al.*, 2007), de la « tortuosité » du déplacement à partir de mesures fractales (Enguehard *et al.*, 2013), ou relevant de la fouille de données et de l'apprentissage automatique (Gloaguen *et al.*, 2015 ; Joo *et al.*, 2013) sont également employées afin d'améliorer la classification de l'activité supposée.
- (iii) Selon Russo *et al.* (2013), si le terme « zones de pêche » (« *fishing ground* ») est très employé dans la littérature, il n'existerait pas de définition précise et communément acceptée permettant d'identifier ces entités. Aussi pour Jennings et Lee (2012), les critères retenus pour définir les zones de pêche doivent être explicités et les conséquences des choix effectués informés notamment dans un contexte de planification spatiale maritime. Si, dans la majorité des études, les zones de pêche sont définies comme l'emprise maximale occupée par les positions VMS des navires supposés en pêche (Hintzen *et al.*, 2012 ; Lee *et al.*, 2010) , Jennings et Lee (2012) suggèrent l'usage de définitions alternatives de zones de pêches en tant que zones les plus fréquentées (Russo *et al.*, 2013), zones de plus fortes captures, ou encore zones possédant une plus forte valeur commerciale potentielle. La caractérisation des zones de pêche est réalisée dans un espace discret et régulier dont la résolution dépend de la problématique et de l'emprise spatiale de l'étude. En général, cet espace correspond au

maillage des rectangles statistiques ICES¹ ou à leurs subdivisions. Récemment, Natale *et al.* (2015) ont proposé une distribution spatiale des zones de pêches (non-discrétisées) à partir d'estimateurs de densité de Kernel (Silverman, 1986) appliqués autour de chaque position de pêche supposée. Mais l'une des limites de cette méthode réside dans l'absence de prise en compte de la dimension temporelle et du caractère séquentiel des positions d'une trajectoire (Demšar *et al.*, 2015). Ceci peut être compensé soit par modification interne de la fonction de Kernel (*i.e. Space Time Kernel Density*) soit par application de la fonction de Kernel aux segments de trajectoire (Long et Nelson, 2012).

- (iv) Dans l'Union Européenne, l'intensité de pratique associée à la pêche commerciale est caractérisée par l'effort de pêche (EC, 2002), défini comme le produit de la capacité de pêche et de l'activité de pêche. La capacité de pêche peut être quantifiée sur la base de deux types d'indicateurs : les caractéristiques du navire (sa jauge exprimée en GT et sa puissance motrice exprimée en kW) et les caractéristiques des engins de pêche. L'activité de pêche est communément mesurée par le temps estimé de pêche dans une zone déterminée (Campbell *et al.*, 2014) d'un espace discrétisé (cf. (iii)) . Selon la Commission Européenne², le temps d'immersion de l'engin de pêche constituerait un indicateur mieux adapté pour mesurer l'activité de pêche. L'effort de pêche est décrit lorsque les informations relatives aux caractéristiques des navires sont connues. Dans le cas contraire, l'activité de pêche est qualifiée par différentes métriques : nombre de navires par unité de surface par unité de temps par engin (Campbell *et al.*, 2014), nombre de positions estimées en pêche par unité de surface par unité de temps (Russo *et al.*, 2013), temps total cumulé de pêche par unité de surface par unité de temps par engin (Lee *et al.*, 2010 ; MNHN, 2012 ; Vanstaen et Silva, 2010), temps moyen cumulé de pêche par unité de surface par unité de temps par engin (Campbell *et al.*, 2014), surface draguée cumulée par unité de temps par unité de surface (Dinmore *et al.*, 2003).

1.3. Données et méthodes

La caractérisation du déroulement spatio-temporel de l'activité de pêche à la drague (coquille Saint-Jacques, praire, pétoncle noir et huître plate) en rade de Brest à partir de l'analyse des données AIS est envisagée en cinq étapes :

1. Structurer une base de données AIS sur la zone d'étude
2. Identifier le métier pratiqué chaque jour par navire
3. Estimer les positions AIS supposées en pêche
4. Identifier les zones de pêche et caractériser l'intensité de pratique
5. Evaluer les résultats

¹ Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) ou *The International Council For the Exploration of the Sea* (ICES). <http://www.ices.dk>

² Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen du 5 février 2007 sur l'amélioration des indicateurs de la capacité de pêche et de l'effort dans le cadre de la politique commune de la pêche [COM(2007) 39 final - Non publié au Journal officiel]

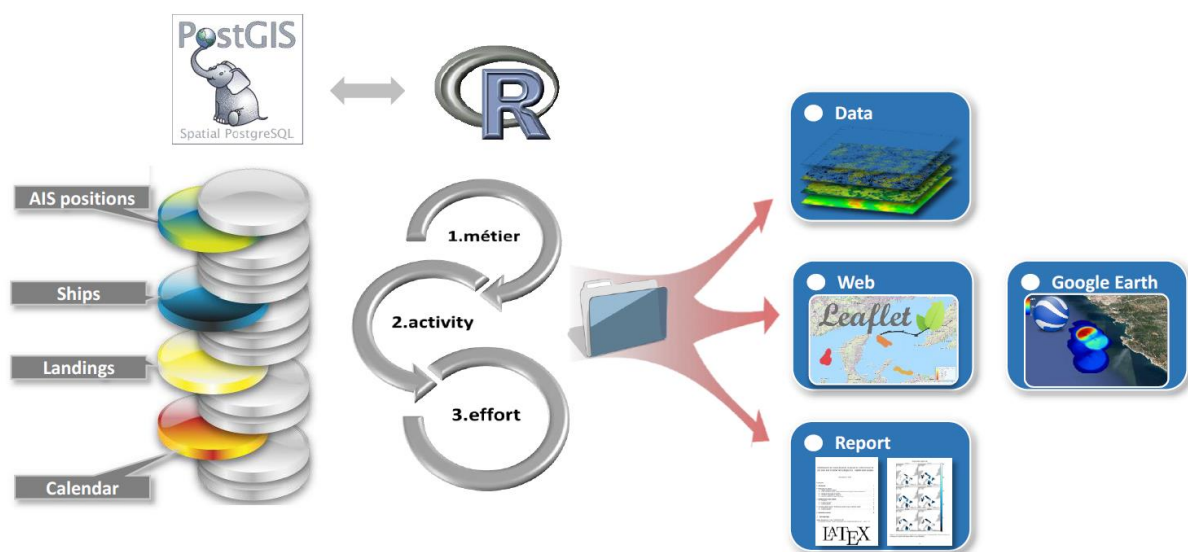


Figure 2. Représentation schématique de la méthode.

Le choix de l'utilisation de logiciels libres et ouverts a été retenu afin de favoriser la reproductibilité des résultats et de faciliter le transfert des méthodes développées. Les données ont été structurées dans un système de gestion de base de données relationnelles PostgreSQL (The PostgreSQL Global Development Group, 2014) associé au module spatial PostGIS. Les analyses statistiques, spatiales et les productions cartographiques ont été réalisées dans le logiciel de programmation R (R Core Team, 2016).

Les données AIS

Dans le cadre du projet DACTARI, il était prévu initialement de mobiliser la base de données AIS de l'Écloserie du Tinduff pour les saisons 2011/2012 et 2012/2013. Mais deux problèmes de nature différente sont survenus au démarrage du projet.

- L'exploitation de la base de données AIS de l'Écloserie du Tinduff s'est avérée impossible en raison des modalités de collecte et d'archivage des données. En effet, les données sont enregistrées par jour dans un format de calque propriétaire (format .ptf MaxSea). Lors de leur conversion dans un format exploitable, l'identifiant unique des navires ne peut être récupéré. En l'absence de cette information, les analyses ne peuvent être réalisées puisque nous ne pouvons pas nous assurer que les positions AIS correspondent effectivement à des navires de pêche. De plus, les données étaient de qualité médiocre de leur mode de collecte *via* un récepteur mobile.
- Le second problème qui est apparu est de nature juridique puisque le transfert des données AIS du CDPMEM29 vers le laboratoire nécessitait une convention signée par toutes les parties prenantes, le laboratoire, le CDPMEM29 et la soixantaine de pêcheurs « producteurs » de données, puisque la donnée AIS non anonymisée est considérée comme une donnée personnelle.

Ces deux problèmes nous ont conduits à envisager l'exploitation de données AIS collectées par l'IRENav dans un objectif de recherche. Les données, structurées dans une base de données PostgreSQL/PostGIS, ne sont disponibles que pour la saison 2011-2012 et compte-tenu du rayon de réception de l'antenne de collecte située à Télécom Bretagne (Plouzané), la couverture spatiale correspond à la partie ouest de la rade de Brest (

Figure 3). Ces données excluent donc la possibilité d'identifier, d'une part les zones de pêche à la drague à la praire situées dans la partie orientale de la rade de Brest, et d'autre part la variabilité interannuelle de l'activité. Dans ces conditions, la limitation de l'étude à la réalisation de tests méthodologiques visant à extraire de l'information utile au gestionnaire par analyse des données AIS disponibles a été actée par les 3 partenaires courant 2014 (LETG, CDPMEM29, IRENav).

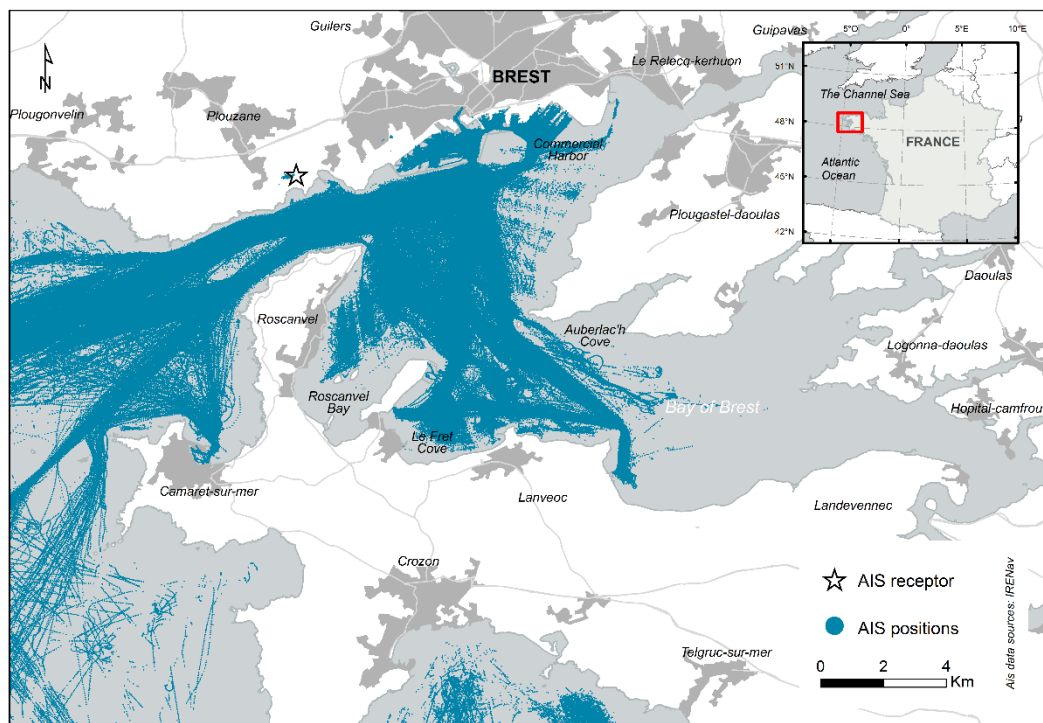


Figure 3. Positions AIS fournies par l'IRENav (2011-2012, tout type de navires).

La base de données exploitée contient des données statiques (numéro MMSI, nom et type du navire), et des données dynamiques (latitude, longitude, time stamp (UTC), vitesse de fond (SOG en Knots), route de fond (COG), taux de giration (ROT), cap).

Tous les types de navires disposant du dispositif AIS sont renseignés dans la base de données. Une première étape consiste à restreindre l'analyse aux navires de pêche possédant une licence coquillère pour cette saison (filtre qualitatif) et aux jours et heures autorisés de pêche à la drague (filtre temporel). La sélection des navires possédant une licence coquillère pour cette saison est réalisée à partir des informations collectées auprès du CDPMEM. Un filtre temporel est effectué sur la base des jours et des horaires de pêche autorisés par délibération du CRPMEM. Afin d'établir les liens entres les

données AIS et les données du CDPMEM et du CRPMEM, il est nécessaire d'identifier les navires par leur n° MMSI. Une recherche est donc réalisée dans les bases de données de la FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) et de l'ITU (*International Communication Union*) à partir de l'immatriculation de chaque navire.

■ Identifier le métier pratiqué chaque jour par navire

Les navires possédant une licence coquillière peuvent pratiquer différents métiers au cours d'une saison. Afin d'identifier le métier pratiqué chaque jour par navire, nous avons exploité des données des débarquements (espèces et poids débarqué) par navire et par jour, ainsi que les prix de ventes quotidiens à la criée fournis par le CDPMEM29. L'analyse est réalisée par le script « *metier.R* » en quatre étapes :

(i) Import des données brutes et structuration pour permettre l'analyse

(ii) Exploration des quantités et espèces débarquées

(iii) Identification de l'espèce « principale » pêchée lors d'une marée. La pêche professionnelle aux pétoncles noirs, huîtres plates, praires et coquilles Saint-Jacques est réalisée en rade de Brest à l'aide de drague. L'identification *a posteriori*, du métier pratiqué par navire chaque jour repose sur la composition en espèces des débarquements (Bastardie *et al.*, 2010 ; Hintzen *et al.*, 2012) :

- i. si la totalité d'un débarquement (*i.e.* la quantité débarquée par un navire lors d'une marée) est composée d'une seule espèce, le métier pratiqué correspond à la drague à l'« espèce unique débarquée » ;
- ii. si un débarquement comprend plusieurs espèces, le métier principal pratiqué est identifié à partir d'une analyse de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) (Dray *et al.*, 2007) réalisée sur la composition spécifique des débarquements et des prix de vente à la criée. Sous l'hypothèse que les pêcheurs visent à maximiser leurs revenus plutôt que les volumes débarqués, la composition spécifique est exprimée en tant que pourcentage de la valeur monétaire totale du débarquement calculée par rapport au prix de vente à la criée du jour même. La matrice de dissimilarité entre les débarquements est calculée par la distance euclidienne des pourcentages relatifs par espèces de la valeur monétaire totale du débarquement. La méthode de Ward (1963) utilisée pour le regroupement de la classification hiérarchique vise à minimiser la variance intra-groupe tout en maximisant la variance inter-groupe. L'algorithme "ward.D2" (Murtagh et Legendre, 2013) a été retenu car le critère calculé est fidèle à celui proposé par Ward (1963). Le nombre de classes est déterminé automatiquement en fonction de l'inertie totale expliquée (paramètre défini par l'utilisateur, soit 95% pour cette étude). Le nom de chaque groupe identifié est composé par les noms des espèces, ordonnés selon leur contribution respective à valeur débarquée par marée (exprimé en pourcentage relatif moyen de la valeur totale débarquée). Par exemple, le

groupe « 85-csj_9-hui_6-pet », correspond au groupe pour lequel, en moyenne, 85% de la valeur débarquée pour une marée sont représentés par la coquille Saint-Jacques ("csj"), 9 % par l'huître plate ("hui") et 6% par le pétoncle noir ("pet"). Les groupes homogènes identifiés sont représentés graphiquement dans le plan à l'aide d'une Analyse en Composantes Principales (ACP) non normée dans la mesure où les variables sont exprimées en pourcentage.

- (iv) Exportation des données dans la base de données PostgreSQL/PostGIS, sous la forme de table contenant l'identifiant du navire, la date, le métier, et les valeurs non moyennées des pourcentages par espèce de la valeur totale débarquée lors de marée selon les prix de vente à la criée du même jour.

Estimer les positions ou segments supposés de pêche

Les positions supposées de pêche sont estimées à partir de la distribution des vitesses des navires (Bastardie *et al.*, 2010). L'analyse d'observations embarquées a démontré que l'histogramme de fréquence des vitesses est généralement bimodal pour les métiers du chalut (Mills *et al.*, 2007) : le premier pic de faibles vitesses correspond vraisemblablement à l'activité de pêche tandis que le second pic de vitesses plus élevées correspond aux mouvements rapides de transits. Nous avons émis l'hypothèse que la relation entre les activités (pêche/ transit) et la distribution des vitesses des navires est similaire pour les métiers de la drague. L'identification des limites (inférieures et supérieures) des vitesses susceptibles de correspondre à l'activité de pêche est réalisée pour chaque métier par une classification hiérarchique automatique à partir de modèles de mélange gaussien (Fraley et Raftery, 2002) à l'aide du package *mclust* (Fraley *et al.*, 2012). La sélection du modèle optimal et du nombre de composants est réalisée automatiquement afin de maximiser le critère d'information bayésien (BIC) (Schwarz, 1978). A l'issue de l'analyse réalisée par le script « *activitePêche.R* », chaque position AIS possède un nouvel attribut « pêche » dont les variables sont binaires (1 : pêche probable, 0 : transit probable).

Identifier les zones de pêche

La reconstruction des zones de pêche à partir des positions estimées « en pêche » est réalisée par analyse spatiale par le script « *zonePêche.R* » en cinq étapes.

1. L'identification de zones de pêche à partir de nos données suppose une agrégation spatiale des positions supposées « en pêche ». Dans un premier temps, il s'agit de vérifier l'existence d'agrégats spatiaux ne résultant pas d'une distribution aléatoire. Pour cela, un test de distribution spatiale aléatoire (*Complete Spatial Randomness*), le test de Kolmogorov-Smirnov (Berman, 1986 ; Baddeley *et al.*, 2005), est réalisé à l'aide du package *spatstat* (Baddeley et Turner, 2005). Si la condition est vérifiée, l'analyse se poursuit.
2. Les segments (portions de trajectoire entre deux positions consécutives d'un navire) estimés « en pêche » sont calculés. Afin de restreindre l'incertitude spatiale, seuls les segments pour lesquels la durée est inférieure à 600 secondes sont conservés.

3. Un lissage spatial de la densité des segments estimés « en pêche » est réalisé par le calcul de la densité de Kernel (Line KDE) à l'aide du package *spatstat* (Fraley *et al.*, 2012). La taille de la maille (g) et le paramètre de lissage (h) sont calculés à partir d'estimations non-paramétriques. La taille de la maille (g) correspond au percentile 99 de la distance entre les plus proches voisins ($k=2$) (Hengl *et al.*, 2008). Le paramètre de lissage (h) est estimé par la méthode LSCV (least-square cross validation) (Calenge *et al.*, 2009). Ainsi, (h) minimise l'erreur quadratique intégrée moyenne ou *Mean Integrated Square Error* (MISE). En d'autres termes, la valeur de (h) identifiée par cette méthode minimise les écarts entre les valeurs prédites de densité de Kernel et les valeurs observées.
4. La discrétisation des zones de pêche est effectuée par l'extraction du percentile 95 de la densité de Kernel des segments estimés « en pêche ».
5. L'intensité de pratique est caractérisée par le calcul de l'effort d'activité qui correspond au temps total cumulé de pêche par unité de surface par unité de temps et par métier. Le temps cumulé de pêche est calculé quotidiennement pour chaque métier avec le package *trip* (Sumner, 2015), puis des synthèses mensuelles et annuelles sont réalisées avec le package *raster* (Hijmans *et al.*, 2015).

Evaluer les résultats

La capacité de discrimination entre l'activité de pêche et de non pêche, ainsi que la propagation de l'erreur associée au cours de la méthode, sont évaluées en comparaison à des positions de pêche connues. Des données ont été collectées par des observateurs embarqués lors de deux marées le 11 mars 2015, l'une concernant le métier de la drague à la praire, la seconde pour la drague au pétoncle noir. Les positions de validation pour le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques n'ont pas pu être collectées en raison d'une interdiction liée à la contamination phytoplanctonique de type ASP (*Amnesic Shellfish Poisoning*) en rade de Brest depuis la saison 2014-2015. Lors de chaque marée, les observateurs embarqués ont collecté les positions GPS des navires, annotées par deux modalités d'actions : l'action de « pêche » et l'action de « transit ». L'action de pêche correspond à la drague immergée. Ce critère a été déterminé *a priori* afin de lever toute ambiguïté pour les observateurs. L'heure de début et de fin ont été reportées pour chaque action de pêche. Un résumé des données collectées est présenté dans le Tableau 1. La durée de chaque marée varie entre 6 h pour la drague à la praire et 8 h pour le pétoncle noir mais avec une durée totale de pêche de 1 h 45 mn quel que soit le métier. Cette durée est directement liée à la réglementation en vigueur en rade de Brest qui limite le temps de pêche à la drague à 2 h chaque jour autorisé. Le nombre total de positions GPS collectées représente 1408 positions pour la drague à la praire et 1041 pour la drague au pétoncle noir, avec un intervalle de temps médian entre deux positions successives de 15 secondes environ.

La comparaison entre les positions de pêche connues (*i.e.* observées) et les positions estimées en pêche à partir de la méthode proposée est réalisée par la construction d'une matrice de confusion. La précision globale (A) et l'indice de Kappa (K) sont calculés afin d'évaluer la qualité de la classification. La propagation de l'erreur de classification au cours du processus est également estimée. Pour cela, les distributions spatiales de la densité des trajectoires des navires en pêche et les distributions

spatiales de l'effort d'activité de pêche, identifiées d'une part, à partir des positions de pêche connues et d'autre part à partir de positions de pêche estimées, sont comparées à l'aide de l'indice de similarité (*I*) proposé par (Warren *et al.*, 2008). Cette métrique globale somme les différences appariées entre deux distributions uni-variées (*i.e.* les différences de distribution spatiale et d'intensité d'une même variable). L'indice de similarité (*I*) varie de 0 (aucune similitude entre les deux distributions), à 1 (deux distributions identiques).

Tableau 1 : Résumé des données GPS collectées par les observateurs embarqués lors de deux marées correspondant au métier de la drague à la praire et à la drague au pétoncle noir.

Statistiques descriptives	Praire	Pétoncle noir
Total positions (n)	1408	1041
Positions en pêche (n)	490	438
Durée totale (h:min)	5:51	7:54
Durée de pêche (h:min)	1:45	1:47
Intervalle de temps médian entre positions (s)	14	16

Outre l'évaluation quantitative de la méthode, une évaluation qualitative mobilisant les connaissances des pêcheurs et de leurs représentants a été réalisée pour évaluer la plausibilité de nos résultats. Ainsi, l'identification des métiers quotidiens, les zones de pêche associées à l'intensité de d'activité résultant de l'analyse ont été présentées et discutées au cours de deux ateliers : le premier en présence de S. Le Guennec (secrétaire du CDPMEM 29) et d'un responsable de l'écloserie du Tinduff (en charge de l'ensemencement des juvéniles) le 18/07/2014, le second auprès des pêcheurs présents lors de la commission coquillière à la Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI) de Brest du 19/12/2014.

1.4. Résultats

Structurer la base de données AIS

Les données AIS couvrant la partie occidentale de la rade de Brest pour la saison 2011-2012 ont été structurées dans une base PostgreSQL/PostGIS (Figure 4). Elle comporte deux fichiers, le premier contenant les positions AIS et le second contenant le descriptif de chaque navire.

dactari		
dactari.AISPositions		
○ MMSI	numeric(9,0)	« nn »
○ Time	timestamp	« nn »
○ Heading	numeric(4,1)	
○ Speed	numeric(5,2)	
○ COG	numeric(5,2)	
○ ROT	numeric(5,2)	
○ CoordGeom	geometry(POINT, 4326)	« nn »
○ Status	text	
dactari.AISShips		
🔑 MMSI	numeric(9,0)	« pk nn »
○ OMI_Number	numeric(9,0)	
○ Name	text	
○ CallSign	text	
○ Type	text	
○ Danger	boolean	
○ Length	numeric(6,2)	
○ Width	numeric(6,2)	

Figure 4. Structuration de la base de données AIS (saison 2011-2012).

■ Identifier le métier pratiqué chaque jour par navire

L'analyse exploratoire des données de débarquements fournies par le CDPMEM 29 rend compte d'une certaine hétérogénéité dans les volumes et espèces débarqués par la soixantaine de navires possédant une licence coquillière en rade de Brest pour la saison 2011-2012 (Figure S1, Annexe 1). Tous les navires, excepté un, ont ciblé la coquille Saint-Jacques sur l'ensemble de la saison et environ 1/3 des navires cible exclusivement cette espèce. La seconde espèce pêchée en nombre de navires est la praire, puis le pétoncle noir et l'huître plate. La proportion pêchée par espèce est sensiblement la même quel que soit le navire pour la coquille Saint-Jacques et la praire. Deux navires ont plus fortement contribué aux volumes débarqués de pétoncle noir et un navire aux volumes débarqués d'huître plate. Sur les 2959 marées de la saison 2011-2012, 82 % sont mono-spécifiques (Tableau 2), c'est-à-dire qu'une seule espèce a été débarquée, et 510 marées (18%) concernent des débarquements pluri-spécifiques.

Tableau 2 : Table des fréquences du nombre d'espèces débarquées par marée au cours de la saison 2011-2012 (source : CDPMEM 29).

Nombre d'espèces	Fréquence	Fréquence cumulée	Fréquence relative
1	2449	2449	0.828
2	404	2853	0.137
3	103	2956	0.035
4	3	2959	0.001

Dans le cas de débarquements mono-spécifiques, 1819 marées peuvent être attribuées au métier de la drague à la coquille Saint-Jacques, 511 au métier de la drague à la praire, 107 au métier de la drague au pétoncle noir, et 12 au métier de la drague à la praire.

Dans le cas des débarquements pluri-spécifiques, l'identification des métiers est réalisée à partir d'une analyse de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) sur la composition spécifique des débarquements et des prix de vente à la criée. L'analyse de l'évolution des prix de vente à la criée par espèce au cours de la saison montre une très forte variabilité des prix (Figure S2, Annexe 1) pour la praire et le pétoncle noir, puis dans une moindre mesure de la coquille Saint-Jacques et l'huître plate. L'utilisation du prix de vente médian sur la saison est donc exclue en tant que proxy pour le calcul des distances de la CAH au profit du prix de vente quotidien pour chaque espèce. 95% de l'inertie totale de la CAH est expliquée par 6 classes ou clusters (Figure 5.A et B). La composition spécifique moyenne des profils de classes est présentée dans la Figure 5.C. Parmi les 6 classes identifiées, nous avons retenu uniquement les classes pour lesquelles le pourcentage relatif moyen de la valeur totale débarquée d'une espèce est supérieur à 80%. Ce seuil, fixé arbitrairement, nous permet d'associer respectivement aux classes 1, 2 et 6 les métiers de la drague à la praire, la drague à la coquille Saint-Jacques et la drague au pétoncle noir sans ambiguïté (Figure 5.C).

L'association entre les métiers quotidiens identifiés et les positions AIS (Tableau 3) permet de renseigner 81 273 positions correspondant au métier de la drague à la coquille Saint-Jacques, 2394 pour la praire et 21 pour le pétoncle noir. La quasi-totalité des positions (97%) concerne le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques. Ce résultat est cohérent aux limites liées à la couverture spatiale

de la base de données AIS comme précisé en partie 1.3.1. Même si 164 marées ont la praire pour espèce cible principale, nous ne disposons d'aucune assurance sur le fait que toutes les positions lors de chaque marée ont été archivées. L'usage de ces données lacunaires pour caractériser le métier de la drague à la praire n'est pas envisagé dans la suite car cela pourrait induire des artéfacts concernant la distribution des vitesses et pourrait identifier des zones de pêche partielles ou erronées. En conséquence, la suite des analyses n'est menée que pour les 951 marées ayant la coquille Saint-Jacques pour espèce cible.

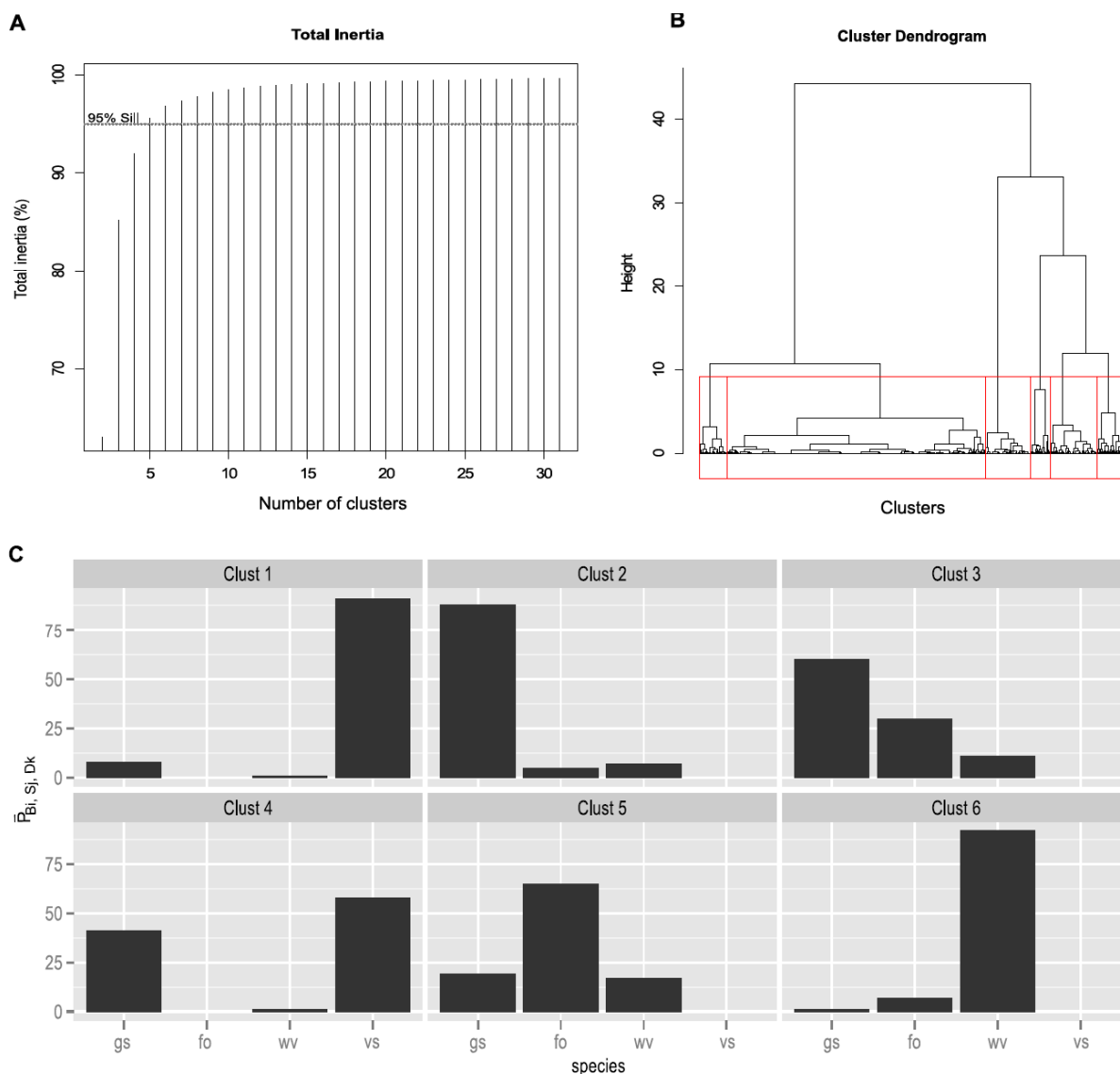


Figure 5. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée sur la composition spécifique exprimée en pourcentage relatif de la valeur commerciale débarquée par marée A) le nombre de classes expliquant 95% de l'inertie totale, b) diagramme de niveaux et c) composition moyenne des profils de classes, où Gs: coquille Saint-Jacques, Fo: huître plate, Wv: praire et Vs: pétoncle noir.

Tableau 3. Classification des débarquements mono et pluri-spécifiques par métier de la drague et positions AIS associées contenues dans la base de données.

		<i>Coquille Saint-Jacques</i>	<i>Praire</i>	<i>Pétoncle noir</i>
Débarquements	Mono-spécifiques	1819	511	107
	Pluri-spécifiques	56	310	54
	Total	1875	821	161
AIS	Positions	81273	2394	21
	Marées	951	164	10

Estimer les positions AIS supposées en pêche

Les résultats de la classification hiérarchique automatique par les modèles de mélange gaussien pour la vitesse moyenne des navires pratiquant la drague à la coquille Saint-Jacques sont présentés dans la Figure 6. Le modèle optimal selon le critère BIC sélectionné correspond au model V (Figure 6.A). Le profil de densité de vitesse est décomposé en 4 composants selon l'indice NDE (Figure 6.B). Les limites inférieures et supérieures de vitesses pour l'action supposée de pêche des navires pratiquant la drague à la coquille Saint-Jacques correspondent respectivement à 0.8 et 2.9 m s⁻¹ (Figure 6.C à E). Suivant ce critère, 50 820 positions AIS (62.5% du total des positions ciblant la coquille Saint-Jacques) sont classées comme supposées en pêche.

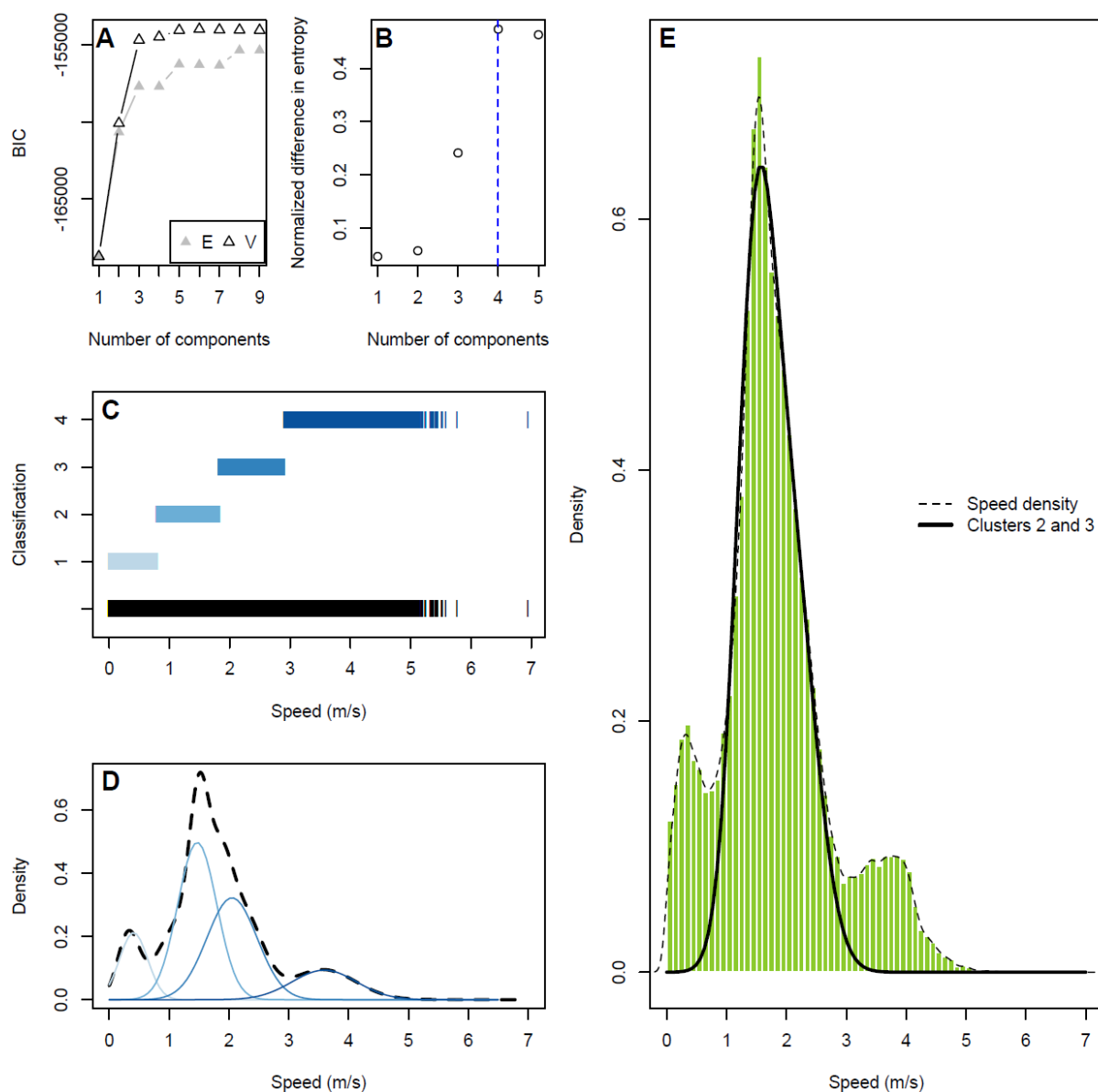


Figure 6. Résultats de la classification hiérarchique automatique par les modèles de mélange gaussien pour la vitesse moyenne des navires pratiquant la drague à la coquille Saint-Jacques. Identification des paramètres pour A) le model optimal (E: une dimension variance égale), V: une dimension variance variable) et pour B) le nombre optimal de composants. C) distribution des vitesses pour chaque composant identifié, D) modèle de mélange pour la vitesse et E) le profil de densité pour les composants correspondant au second pic de valeurs de vitesses.

Identifier les zones de pêche et caractériser l'intensité de pratique

Reconstruction des zones de pêche

La présence d'agrégats spatiaux parmi les positions de pêche pour la coquille Saint-Jacques ne résultant pas d'une distribution aléatoire est vérifiée (test de Kolmogorov-Smirnov $D = 0.274$, $p < .001$). L'identification de zones de pêche peut être réalisée. Les zones de pêche pour la drague à la coquille

Saint-Jacques dans la partie ouest de la rade de Brest sont estimées par jour¹, par mois (Figure 7) puis pour la saison 2011-2012 (Figure 8) au cours de laquelle 7 zones distinctes sont identifiées.

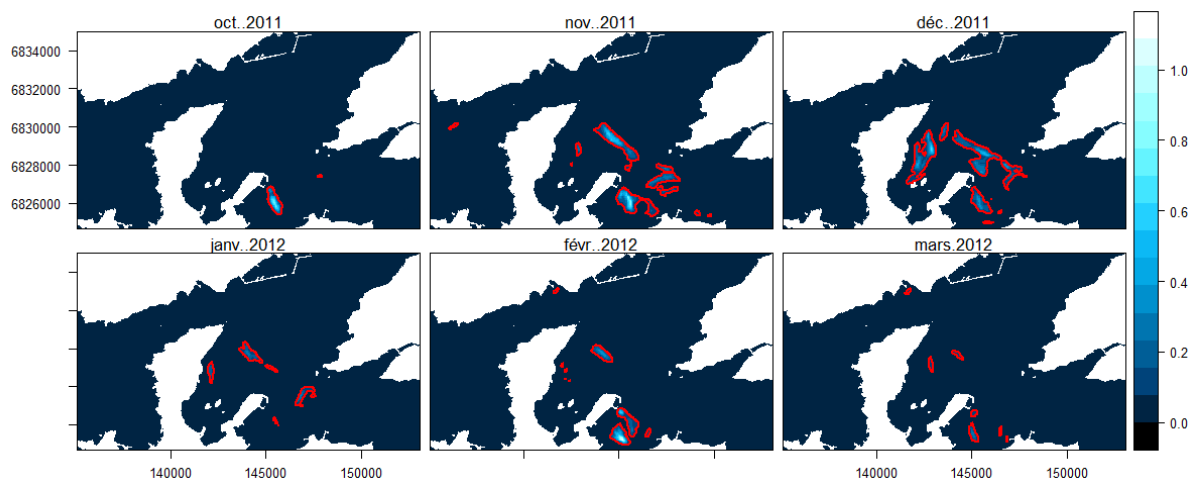


Figure 7. Distribution mensuelle de la Densité de Kernel des segments quotidiens de pêche et zones de pêche identifiées pour le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques (percentile 0.95).

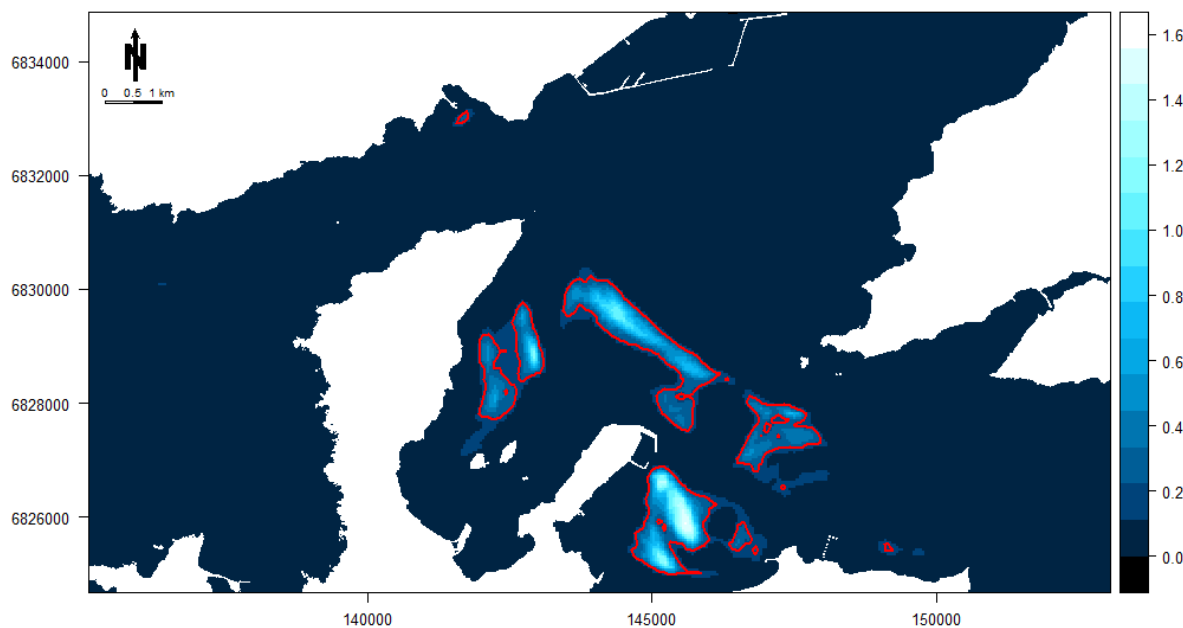


Figure 8. Distribution annuelle de la densité de Kernel des segments quotidiens de pêche et zones de pêche identifiées pour le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques (percentile 0.95).

Caractérisation de l'effort d'activité

La distribution spatiale de l'effort d'activité pour la drague à la coquille Saint-Jacques au sein des zones de pêche est représentée par mois (Figure 9) et pour l'ensemble de la saison 2011-2012 (Figure 11Figure 12). L'évolution mensuelle de l'effort d'activité sur l'ensemble des zones de pêche identifiées est présentée dans la Figure 10.

¹ <https://rawgit.com/dleguyader/Projects/master/dactari/DailyFishingZones/index.html>

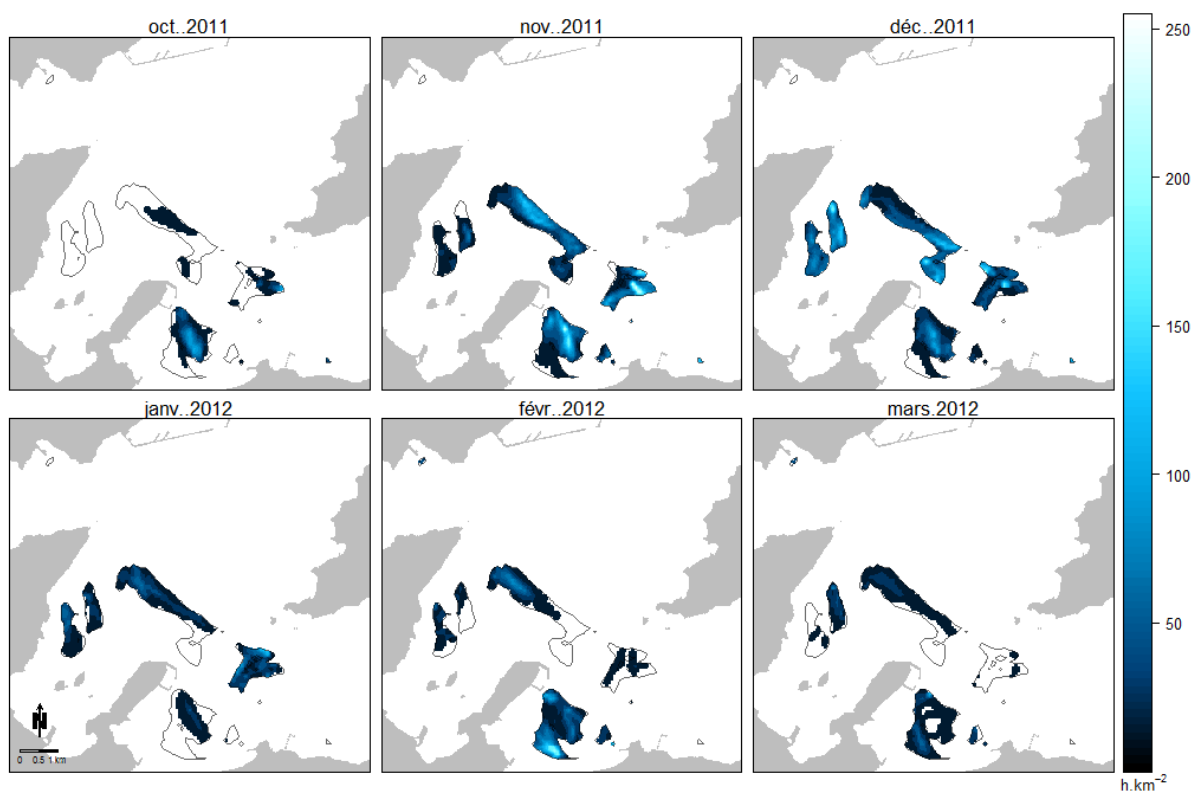


Figure 9. Distribution mensuelle du temps de pêche cumulé pour le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques (dans les zones de pêche identifiées).

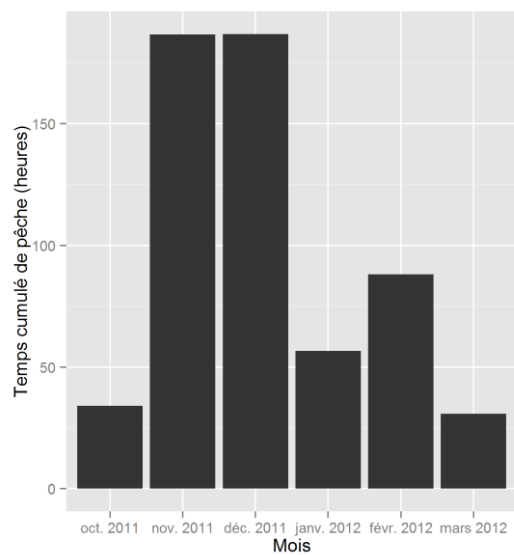


Figure 10. Répartition mensuelle du temps de pêche cumulé sur la période 2011-2012 pour le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques (dans les zones de pêche identifiées).

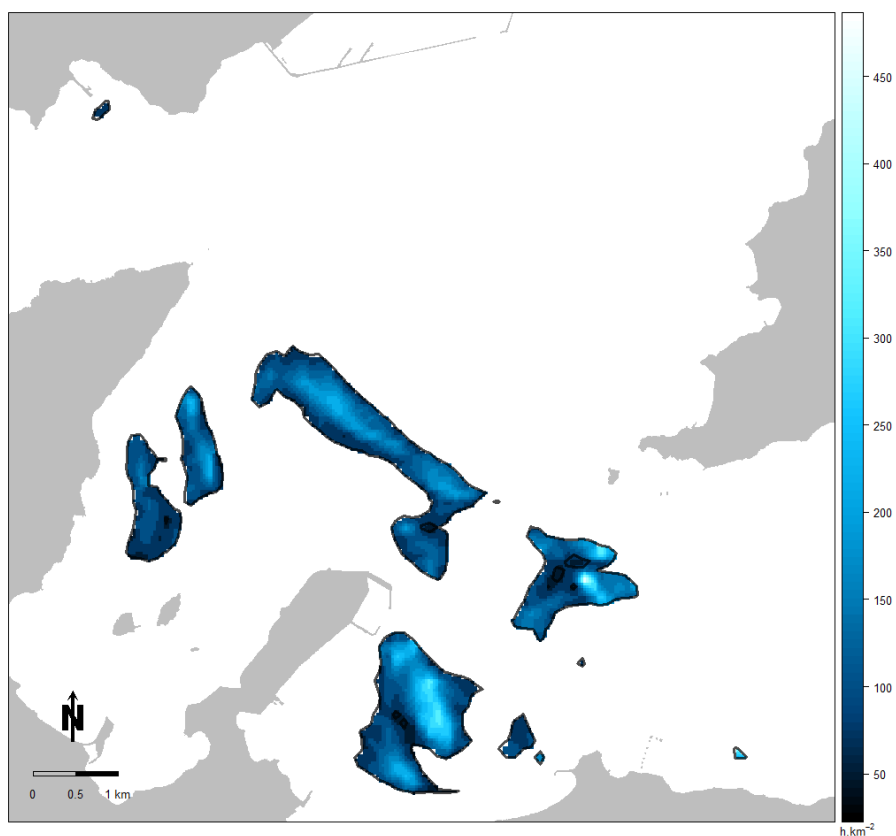


Figure 11. Effort d'activité pour le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques en 2011-2012.

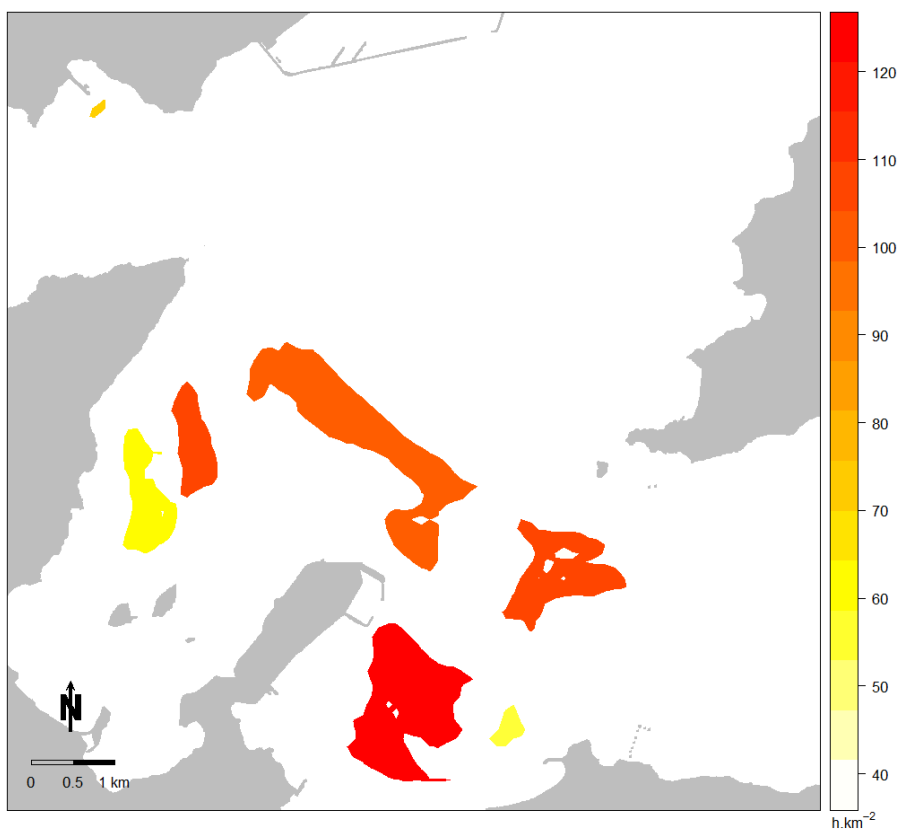


Figure 12. Effort d'activité par zone de pêche pour le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques en 2011-2012 (en heure de pêche/km²/an).

La durée totale de pêche à la drague à la coquille Saint-Jacques est estimée à 573 h toutes zones confondues. L'effort d'activité est essentiellement concentré (192 h) dans la zone méridionale située dans l'anse du Fret et dans la zone située au centre de la rade. La distribution temporelle de l'effort d'activité est concentrée entre les mois d'octobre et novembre avec 183 h (64% de la durée totale). La distribution mensuelle de l'effort d'activité est inégalement répartie entre les zones de pêche (Figure 9). Ces résultats mettent également en évidence la variabilité de l'effort d'activité au sein de chaque zone de pêche (Figure 11) ainsi que la variabilité de l'effort entre ces zones (Figure 12).

Validation

Les résultats de l'évaluation de la capacité de discrimination entre l'activité de pêche et de non-pêche, ainsi que la propagation de l'erreur associée au cours de la méthode sont présentés dans le Tableau 4. La précision globale de la discrimination entre les états de « pêche » et « non-pêche » correspond à 91% ($K = 0.8$) pour le pétoncle noir et 87% ($K = 0.73$) pour la praire. La méthode développée permet donc, de classer « correctement » environ 9 positions sur 10. La propagation des erreurs de détection dans la suite des analyses semble très faible. En effet, les distributions spatiales des deux descripteurs estimés (intensité des segments de trajectoires de pêche et temps de pêche) sont très proches des distributions observées ($0.95 \leq I \leq 0.96$ pour le pétoncle noir et $0.92 \leq I \leq 0.94$ pour la praire).

Tableau 4. Résumés statistiques de la capacité de différenciation entre l'activité de pêche et de non-pêche (positions) et évaluation de la propagation de l'erreur sur les distributions des descripteurs continus calculés (Zones de pêche et Intensité de pêche).

Descripteurs	Résumés statistiques	Marées	
		Pétoncle	Praire
Positions de pêche	Positions (n)	1407	1037
	Précision globale (A)	0.91	0.87
	Kappa (K)	0.80	0.73
Zones de pêche	Indice de similarité de Warren (I)	0.95	0.94
Intensité de pêche	Indice de similarité de Warren (I)	0.96	0.92

De plus, l'évaluation de nos résultats auprès de certains pêcheurs et de leurs représentants lors des ateliers s'est révélée positive. En effet, les résultats ont été validés dans la mesure où ils sont cohérents avec les pratiques des pêcheurs, la localisation des zones d'ensemencement de juvéniles et certaines réglementations. A titre d'exemple, lors des deux premiers mois de la saison de pêche (octobre et novembre), la plus forte intensité de pêche est localisée dans l'anse du Fret. S'agissant d'une zone enssemencée l'année précédente, les pêcheurs y ont donc porté leur effort en priorité dans la mesure où la concentration en coquilles Saint-Jacques était plus élevée. Il est également intéressant de noter que la zone de pêche située au nord-est, près de l'anse de Sainte-Anne du Portzic, ne résulte pas d'un artéfact de calcul mais correspond effectivement à une zone où la pêche a été autorisée deux jours (2*2 h) en février et mars 2012.

1.5. Conclusion

Ce volet 1 du projet DACTARI avait pour objectif d'explorer la possibilité de fournir des informations sur la variabilité spatio-temporelle des métiers de pêche à la drague, à fine échelle, à partir des données AIS. En mobilisant des données hétérogènes (débarquements, prix de ventes, données réglementaires et données AIS), la méthode employée suit le schéma général proposé par Russo *et al.* (2014) pour l'analyse de données VMS ou par Natale *et al.* (2015) pour les données AIS, mais suggère un certain nombre d'adaptations (estimations non-paramétriques de différents paramètres, utilisation de la densité des trajectoires et non des positions, ...). La rade de Brest a été retenue comme site d'application car tous les navires pratiquant les métiers de la drague disposent d'AIS en raison de la réglementation locale. Les résultats permettent d'identifier des zones de pêche à la drague à la coquille Saint-Jacques dans la partie occidentale de la rade de Brest pour la saison 2011-2012 et d'y associer une intensité de pratique. Ils mettent également en évidence une variabilité spatiale intra-annuelle (mensuelle et quotidienne) de l'effort d'activité.

Toutefois, cette approche comprend un certain nombre de limites intrinsèques à la méthode et liées à la disponibilité des données. En effet, l'exploitation des données AIS dans cet objectif implique deux conditions préalables : une connaissance de la représentativité des navires équipés en AIS et un accès à des données de qualité. L'AIS n'étant pas obligatoire pour les navires de pêche de moins de 15 m, il est nécessaire de connaître le taux de navires équipés au regard de la flottille concernée afin d'éviter certains biais de représentativité. De plus l'accès aux données de débarquements (nécessaires pour l'identification des métiers quotidiens), tout comme l'acceptation d'embarquer des observateurs à bord, dépendent de l'intérêt porté par les pêcheurs et leurs représentants à l'étude et implique une forte collaboration dans le temps. L'accès aux données AIS est également une condition initiale à l'analyse. Dans cette étude, les données disponibles, fournies par l'IRENav, ne possédant pas une couverture spatiale de l'ensemble de la rade de Brest, ne nous ont permis de caractériser que le métier de la drague à la coquille Saint-Jacques. De plus, l'analyse effectuée pour une seule saison de pêche ne permet pas de produire une information exhaustive (ou du moins représentative) d'une activité dynamique et sous forte contrainte. Des limites liées à la nature des données AIS doivent aussi être prises en compte : elles peuvent être incomplètes (Robards *et al.*, 2016) ou falsifiées, le signal peut aussi être éteint (volontairement ou involontairement). Dans la mesure où les données brutes AIS contiennent des informations individuelles, l'analyse doit permettre l'anonymisation et les résultats doivent garantir un degré suffisant d'agrégation.

Malgré ces réserves, il apparaît que cette approche est complémentaire (Russo *et al.*, 2016) aux autres sources d'information (VMS, VALPENA¹). Supposant les conditions précédentes réunies, le recours aux données AIS dans le cadre de problématiques de gestion des ressources naturelles ou de gestion conservatoire à une échelle locale, peut permettre d'obtenir des connaissances fines du déroulement de l'activité de pêche côtière à la drague au niveau du métier, voire pour d'autres engins (Souza *et al.*, 2016).

Les perspectives de ce travail sont donc multiples. L'évaluation de l'incertitude liée à la détection des positions de pêche a été menée à partir d'observations embarquées. Compte-tenu des ressources humaines nécessaires à la collecte de données complémentaires, seules deux marées ont été échantillonnées, ce qui n'est pas représentatif de la flottille pratiquant la drague en rade de Brest (60

¹ <http://www.corepem.fr/valpena/>

navires) et justifie donc un effort de collecte supplémentaire. Le CDPMEM se déclarant intéressé (cf. Partie 3.2), les travaux pourraient être poursuivis en analysant des données pluriannuelles couvrant l'ensemble de la rade de Brest afin de caractériser la variabilité interannuelle des différents métiers à la drague. Ce développement permettrait également d'allouer un effort spatialisé des captures ou de caractériser la pression exercée sur les fonds marins (effort spatialisé associé aux dimensions des engins) (Eigaard *et al.*, 2016). Sur la base de ces informations, des compromis entre des objectifs socio-économiques et conservatoires pourraient être identifiés à l'aide d'outils d'optimisation spatiale tels que Marxan¹.

¹ <http://marxan.net/>

2. Volet 2 : Faisabilité de la démarche conduisant à l'estimation des impacts cumulés sur le territoire du PNMI, application sur certains enjeux en fonction des connaissances et données disponibles.

- Décembre 2014-décembre 2015
- Participants: LETG, Parc Naturel Marin d'Iroise

Le Volet 2 avait un double objectif : 1) la transposition de la démarche de modélisation spatio-temporelle des activités encadrées mise au point sur la rade de Brest (Le Guyader, 2012 ; Gourmelon *et al.*, 2013, 2014) à la mer d'Iroise, en collaboration avec le PNMI et le projet CARTAHU (Peuziat et Le Berre, 2014)¹, 2) l'évaluation exploratoire de la démarche des impacts cumulés (Halpern *et al.*, 2007, 2008) en termes d'intérêt pour le gestionnaire (PNMI) et de faisabilité en mer d'Iroise (disponibilité des données et des connaissances). Du fait de l'indisponibilité de certaines informations géographiques en mer d'Iroise, notamment celles décrivant les activités non encadrées, l'objectif 1 n'a pas pu être atteint. L'étude s'est donc focalisée sur l'évaluation exploratoire de la démarche des impacts cumulés.

2.1. Contexte

La gestion durable du milieu marin implique de disposer d'une connaissance réaliste et dynamique du déroulement des activités maritimes, et d'indices caractérisant la qualité de l'écosystème marin tel que l'Ocean Health Index² récemment mis en œuvre pour fournir une évaluation synthétique d'un état global à un instant donné. Disposer de ce type d'information dans un cadre diachronique et prospectif peut être un atout dans une démarche de gestion adaptative (Holling, 1978) et serait d'un intérêt certain dans les démarches de politique publique environnementale telle que la DCSMM en Europe.

2.2. Etat de l'art

Les activités humaines en mer, consommatrices d'espaces et de ressources, interagissent avec les écosystèmes dont elles peuvent modifier la structure et le fonctionnement (Lotze *et al.*, 2006). Selon (Borja, 2014), la compréhension des interactions entre les pressions générées par les activités anthropiques et les écosystèmes marins représente toujours actuellement un défi majeur en termes de recherche. Depuis quelques années, en relation avec les enjeux de planification spatiale en mer (PSM), les travaux portant sur la compréhension et la cartographie des impacts cumulés des activités humaines sur les écosystèmes marins connaissent un fort essor et gagnent en pertinence au regard de

¹ CARTAHU (Fondation de France, 2011-2014) étudie les méthodologies permettant la spatialisation des activités et usages maritimes notamment non encadrées

² <http://www.oceanhealthindex.org/>

la nécessité des évaluations associées aux approches écosystémiques préconisées par les politiques de gestion des ressources naturelles (Halpern et Fujita, 2013).

Mis au point par Halpern *et al.* (2007, 2008), le concept d'impacts cumulés mobilise une méthode d'analyse spatiale et quantitative. Elle considère les impacts potentiels comme la résultante de pressions anthropiques s'exerçant sur des composantes de l'écosystème. Une pression anthropique est définie comme un facteur de stress d'origine humaine provoquant des perturbations, des dommages ou la perte d'un ou plusieurs composants d'un écosystème de manière temporaire ou permanente. Selon cette définition, un impact anthropique potentiel représente une possible évolution négative que la pression peut provoquer sur une composante de l'écosystème. L'impact est considéré comme potentiel car, dans cette démarche, les estimations reposent sur les connaissances partielles d'experts concernant les relations entre les pressions et les impacts sur l'écosystème. L'impact réel sur une variable de l'écosystème peut diminuer ou augmenter en fonction de la variabilité naturelle et d'autres facteurs stochastiques. Les impacts cumulés sur l'écosystème marin représentent la somme de tous les impacts potentiels dans une unité de surface (Korpinen *et al.*, 2012).

L'impact cumulé I_C est calculé comme suit :

$$(1) \quad I_C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i \times E_j \times \mu_{ij} \quad (\text{Halpern et al., 2008; Korpinen et al., 2012})$$

Ou
$$(2) \quad I_C = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_i \times E_j \times \mu_{ij} \quad (\text{Kappel, Halpern, et Napoli, 2012; Micheli et al., 2013})$$

Où P_i est la valeur log transformée et normalisée (variant de 0 à 1, avec 1 étant la plus forte valeur de la pression mesurée) d'une pression anthropique dans une unité d'évaluation i , E_j est la présence/absence d'un composant de l'écosystème j (*i.e* population, espèce, biotope ou complexe de biotopes ; respectivement 1 ou 0), μ_{ij} est un indice de pondération pour P_i dans E_j (variant de 0 à 4 Halpern *et al.* (2008)). L'indice de toute combinaison $P \times E \times \mu$ est nul si une pression est nulle ou si un composant de l'écosystème est absent. Ainsi, plus le nombre de composants de l'écosystème contenu dans une unité d'évaluation est élevé et plus le nombre de pressions dans cette unité est élevé, plus la valeur de l'indice d'impact est élevée (Korpinen *et al.*, 2012).

La mise en œuvre de cette démarche et le calcul des impacts cumulés nécessitent trois catégories de données (Figure 13) :

- 1- la distribution spatiale des composantes des écosystèmes marins au sens large (espèces, habitats, biotopes, complexes de biotopes) ;
- 2- la distribution spatiale et l'intensité de pressions anthropiques déduites à partir de la distribution spatiale des activités ;
- 3- des indices de vulnérabilité des écosystèmes aux pressions anthropiques qui agissent essentiellement comme des facteurs de pondération spatiale. Ces indices sont généralement construits à partir de connaissances académiques et à dires d'experts. Ils peuvent également être appelés facteurs d'impacts.

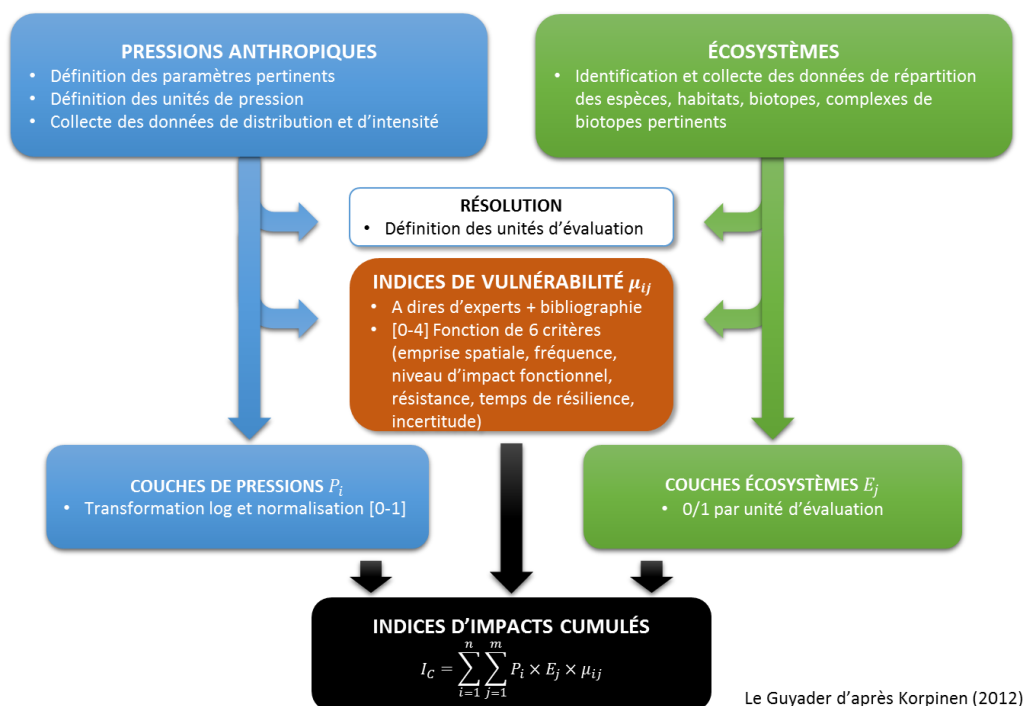


Figure 13. Représentation schématique des différentes étapes de calcul de l'indice d'impacts cumulés adapté d'après Korpinen (2012).

Actuellement, cette approche repose sur des hypothèses fortes qui induisent un certain nombre de limites parmi lesquelles, la non prise en compte des effets synergiques ou antagonistes entre impacts, la non prise en compte des temporalités et l'indisponibilité de certaines connaissances et informations géographiques (Halpern et Fujita, 2013).

Un inventaire des publications portant sur les impacts cumulés en milieu marin et côtier a été réalisé (Tableau 5). Il a permis d'identifier 17 travaux en plus de ceux d'Halpern *et al.* (2008) portant sur 12 zones d'étude. Seuls les travaux mentionnant explicitement le calcul des impacts cumulés dans leur méthodologie ont été conservés. Les critères retenus pour analyser les différentes démarches concernent la zone d'étude (emprise et localisation), les modalités de calcul des impacts cumulés (le nombre de pressions anthropiques et d'écosystèmes pris en compte, la méthode de construction des indices de pondération, la résolution spatiale d'analyse, l'équation de calcul), puis le type de publication.

Les informations concernant la superficie des sites d'étude n'étant pas systématiquement renseignées, nous avons estimé de manière subjective qu'une zone d'étude de superficie (S) inférieure à 10 000 km² pouvait être considérée comme une étude menée à un niveau local (à titre de comparaison, la surface du périmètre maritime de la Zone Atelier Brest Iroise, <http://www-ium.univ-brest.fr/zabri/fr>, couvre environ 3 700 km²). Toutes les zones d'études recensées concernent des travaux à un niveau régional (S > 10 000 km²). Parmi les études concernant des zones de plus faible superficie, nous pouvons citer Selkoe *et al.* (2009) sur les îles hawaïennes du nord-ouest (S ≈ 360 000 km²), Ban *et al.* (2010) dans la partie occidentale de la ZEE canadienne (S ≈ 350 000 km²) ou encore March *et al.* (2013) dans le Golfe du Lion (S ≈ 40 000 km²). Dans la littérature, les démarches fondées sur le calcul d'impacts cumulés selon Halpern (2007, 2008) sont mises en œuvre à des échelles globale

et régionale (au sens de la région maritime). A notre connaissance, aucune adaptation de la démarche n'a été menée à un niveau local.

Tableau 5. Inventaire des publications traitant des impacts cumulés. Emprise d'étude : locale (superficie inférieure à 10 000 km²), régionale (superficie supérieure à 10 000 km²) ; n(Di) : nombre de pressions anthropiques ; m (Ej) : nombre d'écosystèmes ; Ic : équation de type (1), équation de type (2) ; ACL - Articles dans des revues répertoriées avec comité de lecture, ACTI - Communications avec actes dans un congrès international, OS – Chapitre d'ouvrages scientifiques, RAP – Rapport de recherche.

Auteurs	Emprise d'étude	Localisation	Pressions anthropiques n (Di)	Ecosystèmes marins m (Ej)	Indices de pondération (μ_{ij})	Résolution spatiale	Calcul de Ic	Type Publication
Halpern <i>et al.</i> (2008)	Mondiale	-	17	20	Expert (n: 135) + Review	1*1 km	(1)	ACL
Halpern <i>et al.</i> (2009)	Régionale	« Courant » de Californie	25	19	Expert	1*1 km	(1),(2)	ACL
Selkoe <i>et al.</i> (2009)	Régionale	Îles hawaïennes du nord-ouest	14	10	Expert (n: 25)	100*100m	(1)	ACL
Ban <i>et al.</i> , (2010); Clarke Murray <i>et al.</i> (2015)	Régionale	ZEE canadienne Pacifique	38	14	Review	200*200 m	(1),(2)	ACL
Stelzenmüller <i>et al.</i> (2010)	Régionale	ZEE du Royaume-Uni	8	19	Review	0.05 * 0.1 degré	(1)	ACL
Andersen <i>et al.</i> (2015); HELCOM (2010); Korpinen <i>et al.</i> (2012)	Régionale	Mer Baltique	52	15	Expert (n : nr)	5*5 km	(1)	RAP, ACL
Andersen <i>et al.</i> , (2012)	Régionale	Mer du Nord	33	29	Expert (n : 53)	1*1 km	(1)	RAP
Micheli <i>et al.</i> (2013) ; Coll <i>et al.</i> (2012)	Régionale	Mer Méditerranée et Mer Noire	22	17	Expert	1*1 km	(2)	ACL
March <i>et al.</i> (2013)	Régionale	Golfe du Lion	35	16	Expert	250*250 m	?	ACTI
Kappel Halpern, and Napoli (2012); Kappel, Halpern, Selkoe, <i>et al.</i> (2012)	Régionale	« Courant » du Massachusset	58	15	Expert	250*250 m	(2)	RAP, OS
Batista <i>et al.</i> (2014)	Régionale	Eaux territoriales du Portugal	18	?	Experts + Littérature	500*500 m	(1)	ACL
Kelly <i>et al.</i> (2014)	Régionale	Eaux territoriales des îles Shetland	10	?	Experts	?	?	ACL
Large <i>et al.</i> (2015)	Régionale	Côtes Nord-Est (Etats-Unis)	4	4	Littérature	?	?	ACL

2.3. Données et méthodes

Le volet 2 du projet DACTARI s'est focalisé sur l'étude de la faisabilité de la mise en œuvre de la démarche conduisant à l'estimation des impacts cumulés sur le territoire du PNMI¹. Elle avait pour objectif de répondre aux questions suivantes : la démarche conduisant à l'estimation spatiale des impacts cumulés sur le territoire du PNMI est-elle pertinente à cette échelle? Quelles sont les conditions de sa réalisation?, Peut-elle permettre la production d'indices mobilisables dans des démarches prospectives et de gestion?

Le calcul d'un indice d'impacts cumulés sur le territoire maritime du PNMI résulte d'une démarche complexe n'étant pas envisageable dans le cadre de DACTARI. L'objectif est donc d'identifier les conditions de mise en œuvre de cet indice par la construction d'un tableau de bord réalisé avec le PNMI et l'inventaire des informations nécessaires et disponibles. Deux actions ont été menées :

- 1) Identification à dires d'experts (gestionnaire du PNMI et expert des mammifères marins d'Océanopolis) des composants de l'écosystème et des pressions pertinents et prioritaires sur le territoire du PNMI
- 2) Identification de l'information géographique relative aux activités anthropiques et aux composantes de l'écosystème potentiellement mobilisable dans l'estimation spatiale des impacts cumulés

Identification des activités anthropiques et des pressions exercées sur les composantes de l'écosystème à dires d'experts

Conduite des ateliers

L'objectif de cette étape consistait d'une part à identifier les activités anthropiques, les pressions et les composantes de l'écosystème prioritaires en termes de gestion et de conservation sur le territoire du PNMI, et d'autre part, d'identifier les interactions (ou liens) potentielles du triplet : « activités – pressions – composantes de l'écosystème ».

Dans cette perspective, deux ateliers, conduits par l'équipe de recherche composée de 3 personnes, ont été menés. Le premier atelier, d'une durée de trois heures, a eu lieu le 28 mai 2015 en présence de Philippe Le Niliot directeur-adjoint ingénierie et Romain Hubert chargé de mission « nautisme et découverte du milieu marin » au PNMI. Il avait pour objectif d'obtenir une vision globale des liens « activités - pressions - composantes de l'écosystème » les plus pertinents pour les gestionnaires et définis comme prioritaires au sein du PNMI. Le second, d'une durée d'une heure et demie, a eu lieu le 18 juin 2015 en présence de Sami Hassani responsable du service « mammifères marins et oiseaux de mer » à Océanopolis. Il a permis de se focaliser sur une composante de l'écosystème en particulier, celle des mammifères marins, en lien avec les études menées à Océanopolis.

¹ Cette étape a bénéficié du stage de Master 1 des Sciences de la Mer et du Littoral d'E. Roïc (2015), financé par le CNRS.

Récolte et analyse des données

Lors du premier atelier, le modèle proposé par Andersen *et al.* (2012) a été retenu pour collecter les informations. Les triplets « activités - pressions – composantes de l'écosystème » ont été cités puis décrits par les experts par enjeu de gestion du PNMI. Simultanément, les informations étaient retranscrites sur un tableau. Aucune contrainte typologique n'a été imposée. Lors de la compilation des données collectées, une première difficulté en lien avec la retranscription du nombre important de liens potentiels entre chaque triplet est apparue. Une autre forme de représentation a donc été testée lors du second atelier (Roïc, 2015) : celle des modèles conceptuels et en particulier la méthode Acteurs, Ressources, Dynamiques et Interactions (ARDI)¹ utilisée en modélisation d'accompagnement dans le but de construire des modèles conceptuels selon un protocole participatif (Etienne *et al.*, 2011). Si dans le temps de l'atelier, cette méthode s'est révélée beaucoup plus adaptée, elle ne nous a pas permis d'éviter de rencontrer une seconde difficulté importante dans l'étape d'analyse. En effet, les experts n'étant pas contraints dans l'emploi des termes qualifiant les activités, les pressions et les composantes, il en résulte une confusion sur certains éléments identifiés. Cette absence de normalisation implique une interprétation des chercheurs *a posteriori* pouvant induire certains biais. De plus, certains éléments mentionnés se situent à des niveaux hiérarchiques extrêmement variés, rendant l'exploitation des informations brutes très complexe dans la perspective d'une mise en œuvre opérationnelle du calcul d'Impacts Cumulés. Aussi, un essai de formalisation a été réalisé pour structurer les éléments recueillis (activités, pressions, composantes) au sein de typologies hiérarchiques (Annexe 2 Figures 6 à 8) employées dans le cadre de la DCSMM² comme précédemment mis en œuvre par Stelzenmüller *et al.* (2010). Enfin, compte tenu de la relative complexité des données ainsi traitées (différentes catégories, différents enjeux de gestion, différents niveaux hiérarchiques), un prototype d'application permettant l'exploration interactive des données mises en forme dans des graphes hiérarchiques orientés a été élaboré.

Inventaire de l'information géographique

Un inventaire des couches d'information géographique potentiellement mobilisables a été réalisé (Roïc, 2015). Il est organisé sous la forme d'un dictionnaire structuré suivant différentes rubriques :

- Type : nom de l'activité anthropique ou de la composante de l'écosystème ;
- Métadonnées : disponibilité de la fiche de métadonnée en ligne ;
- Base de données : nom de l'infrastructure à laquelle est intégrée la couche d'information géographique ;
- Ressource : intitulé de la ressource ;
- Date de création de la ressource ;
- Résolution spatiale de la couche d'information géographique ;
- Résolution temporelle : dates de début et de fin d'acquisition des données ;
- Mode : vecteur ou raster ;
- Contact : coordonnées de la personne contact pour la ressource ;

¹ <http://cormas.cirad.fr/pdf/guideARDI.pdf>

² <http://sextant.ifremer.fr/fr/web/dcsmm/pressions-et-impacts>

- Gestionnaire : coordonnées du gestionnaire de la ressource ;
- Disponibilité : contraintes de téléchargement de la ressource ;
- Protocole d'acquisition des données nécessaires à la création de la couche.

L'inventaire est fondé sur la consultation de plusieurs infrastructures de données géographiques accessibles sur le Web, susceptibles de contenir de l'information géographique sur le territoire du PNMI : Cartomer¹ (AAMP), Data.shom² (SHOM), Sextant³ (IFREMER), Géolittoral⁴ (MEEDDAT), GéoBretagne⁵ (Préfecture de la région Bretagne et la Région Bretagne), Indigéo⁶ (UMR LETG-CNRS).

2.4. Résultats

Interactions « activités - pressions - composantes de l'écosystème »

Les résultats bruts ainsi que les modèles conceptuels suivant le formalisme ARDI déclinés par enjeu de gestion sont présentés en Annexe 2. Au total 15 activités anthropiques, 13 pressions et 12 composantes de l'écosystème ont été évoqués par les participants (Tableau 1 Annexe 2). De manière générale, les deux chargés de mission du PNMI interrogés, sont apparus relativement intéressés par la démarche fondée sur la notion d'impacts cumulés, même si l'identification des pressions pouvait être considérée comme anxiogène. Ils soulignent cependant le fait que les actions menées sur le territoire du PNMI parent très souvent au plus urgent. Ainsi, la production de futurs indices d'impacts cumulés au sein du PNMI nécessitera un focus sur les composantes de l'écosystème considérées comme les plus vulnérables afin de permettre l'implication de ces indices dans des démarches prospectives et de gestion.

Au cours de ce premier atelier, quatre enjeux de gestion prioritaires ont été mis en avant :

- 1) Conservation des espèces d'intérêt patrimonial ;
- 2) Conservation des habitats d'intérêt patrimonial ;
- 3) Conservation de la qualité de l'eau ;
- 4) Conservation des ressources vivantes exploitées.

Au sein du premier enjeu (Figure 13), nous dénombrons six activités anthropiques comme étant la source de sept pressions distinctes, agissant sur cinq composantes de l'écosystème. L'activité de pêche est la source de la moitié des pressions citées par les agents du PNMI. Les cétacés et les oiseaux hivernants subissent le plus grand nombre de pressions citées. Enfin, la diminution des ressources représente, à elle seule, un tiers des pressions évoquées.

¹ Cartomer : <http://cartographie.aies-marines.fr/>

² Data.shom : <http://data.shom.fr/#donnees>

³ Sextant : <http://sextant.ifremer.fr/fr/>

⁴ Géolittoral : <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/>

⁵ GéoBretagne : <http://cms.geobretagne.fr/>

⁶ Indigéo : <http://indigeo.fr/>

En ce qui concerne l'enjeu de conservation des habitats d'intérêt patrimonial (Figure 14), sept activités anthropiques recensées génèrent sept pressions distinctes qui agissent à leur tour sur quatre composantes de l'écosystème. Par ailleurs, une cinquième composante (les bancs de maërl) a été citée mais elle ne subirait plus de pression du fait de l'arrêt de l'activité d'exploitation sur le PNMI. Enfin, les herbiers de phanérogames marines et les macro-algues brunes sont les composantes qui subissent le plus de pressions, soit près la moitié de celles qui ont été citées.

Dans le cadre de l'étude de l'enjeu de conservation de la qualité de l'eau (Figure 15), cinq pressions anthropiques ont été citées. Elles sont la source de six pressions qui agissent sur trois composantes de l'écosystème. Il est important de noter que ce sont les cétacés qui subissent les trois-quarts des pressions évoquées.

Par manque de temps, l'enjeu concernant les ressources vivantes exploitées (Figure 16) n'a pas pu être traité au cours de l'atelier. Les résultats présentés ici sont donc issus de la quatrième édition du tableau de bord du PNMI publié en 2015, sans validation de la part des chargés de mission du PNMI. Nous avons recensé sept métiers de pêche comme étant à l'origine de la majeure partie des pressions appliquées aux stocks de ressources vivantes sur le territoire du PNMI.

Le second atelier, en présence d'un expert d'Océanopolis, avait pour objectif de traiter l'enjeu de « conservation des espèces d'intérêt patrimonial » évoqué précédemment par les chargés de mission du PNMI, à travers la composante mammifère marin. Une espèce de pinnipède (le Phoque gris *Halichoerus grypus*) et trois espèces de cétacés sont citées (le Grand dauphin *Tursiops truncatus*, le Dauphin commun *Delphinus delphis* et le Marsouin commun *Phocoena phocoena*). Cinq activités anthropiques sont citées comme étant la source de six pressions principales sur les populations de mammifères marins présentes sur le territoire du PNMI (Tableau 6). Un grand nombre de pressions citées par les chargés de mission du PNMI, ont également été mentionnées par l'expert d'Océanopolis. C'est le cas du dérangement physique causé par la fréquentation ou encore des captures accidentelles induites par les métiers de pêche au filet. En revanche, les rejets d'hydrocarbures n'ont pas été retenus comme une source majeure de pression, du fait de leur caractère exceptionnel. Nous constatons que le marsouin commun totalise, à lui seul, six sources de pressions. L'activité de pêche et la fréquentation apparaissent comme les activités anthropiques les plus fréquemment citées sur le territoire du PNMI.

L'influence des changements globaux est citée sur l'ensemble des composantes de l'écosystème, ce qui conforte la prise en compte de ces agents, ayant pourtant un champ d'action plus global, et un impact difficilement quantifiable. Il est important de noter qu'une composante de l'écosystème peut également être une source de pression, ce qui est le cas du phoque gris qui peut adopter un comportement de prédation envers le marsouin commun.

Une synthèse de ces informations est présentée dans la Figure 14 selon le formalisme ARDI et dans la Figure 15 sous la forme d'un graphe orienté hiérarchique.

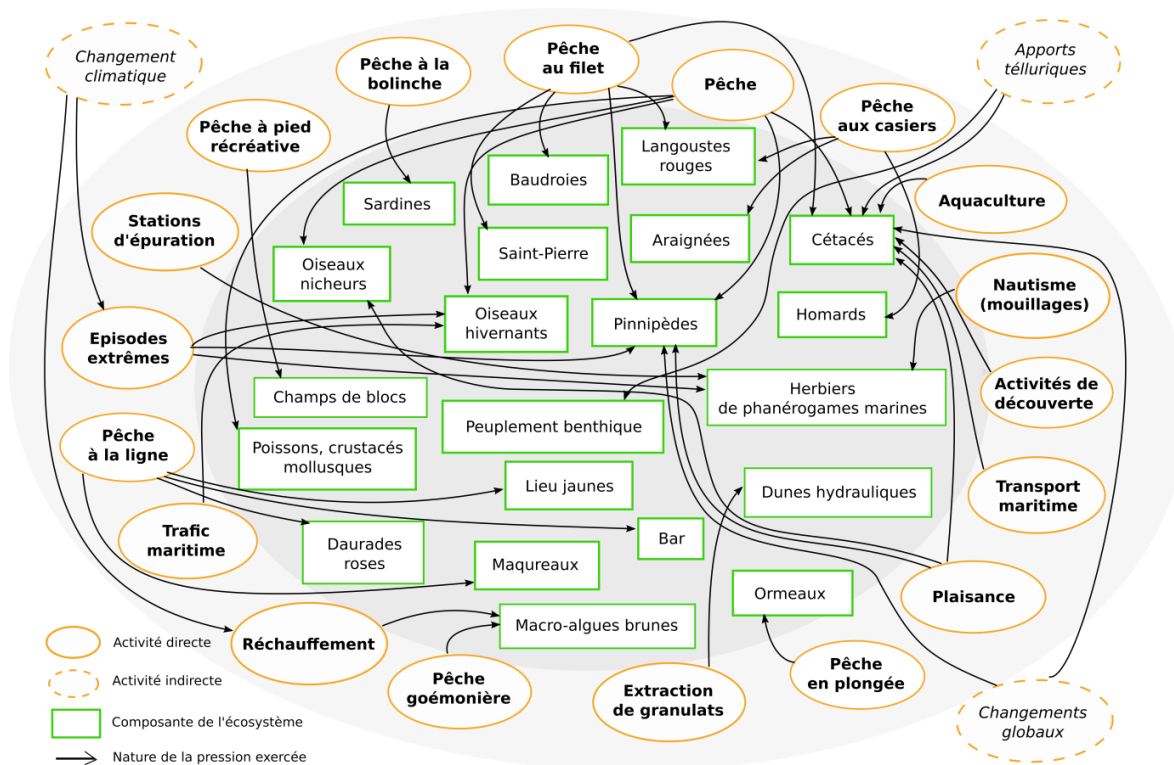


Figure 14. Modèle conceptuel global reprenant l'ensemble des informations collectées (Roïc, 2015).

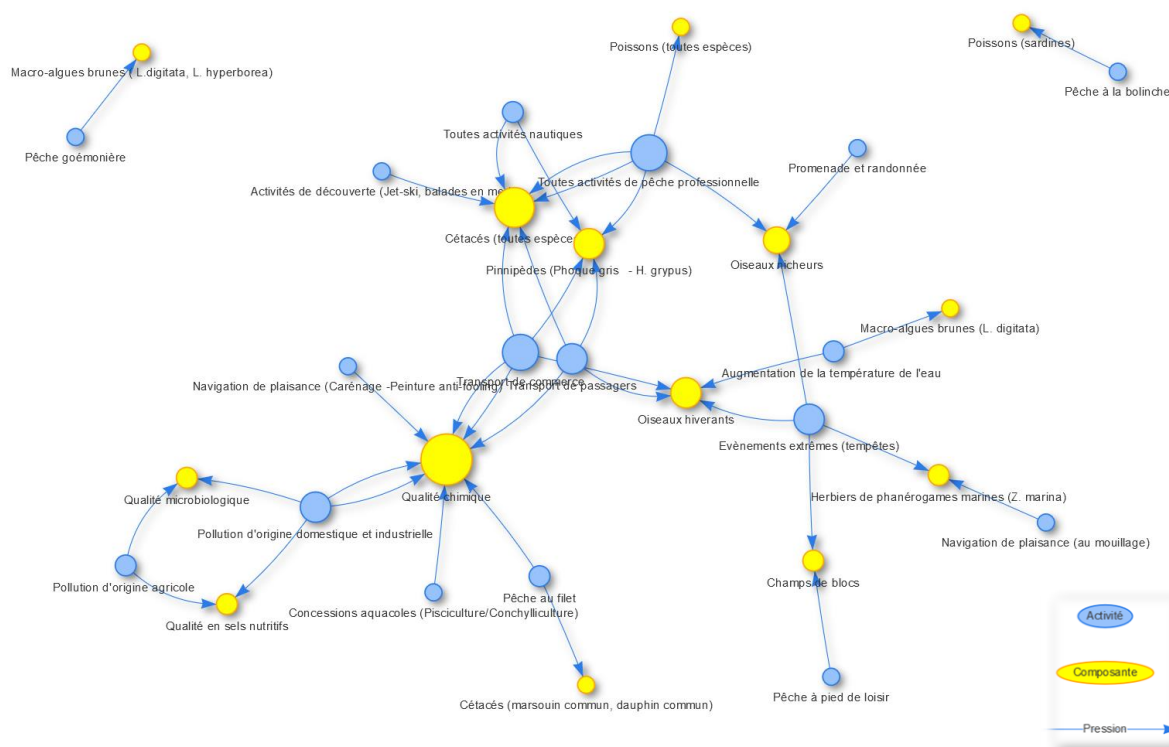


Figure 15. Graphe orienté des liens entre les « activités - pressions - composantes de l'écosystème » au regard des enjeux prioritaires selon le PNMI.

Si ces représentations mettent en évidence la relative complexité des interactions identifiées (Figure 14), le recours à une typologie hiérarchisée (Figure 19) présente un double intérêt : celui de la normalisation de l'information qui offre la possibilité de comparaison entre sites d'études par exemple, et celui de la structuration organisée en différents niveaux facilitant l'analyse (Figure 15). A titre d'exemple, prenons la pêche professionnelle activité la plus mentionnée dans les sources de pression tel que représenté dans la Figure 14, la normalisation des données aboutit à nuancer l'information puisque deux activités (le transport maritime et la pêche) comportent le même nombre maximal ($n=9$) d'occurrences comme source de pression (Figure 17).

Un prototype d'application, accessible en ligne, permettant l'exploration interactive des données sous la forme de graphes hiérarchiques orientés a été élaboré (Figure 16).

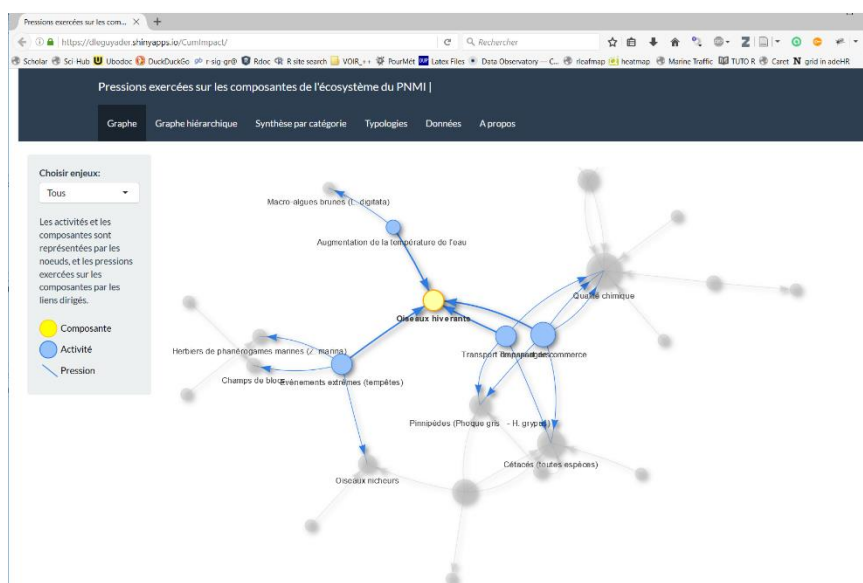


Figure 16. Prototype permettant l'exploration interactive des données collectées sous forme de graphes, des typologies employées, des graphiques de synthèse et des données brutes (accessible en ligne : <https://dleguyader.shinyapps.io/CumImpact/>).

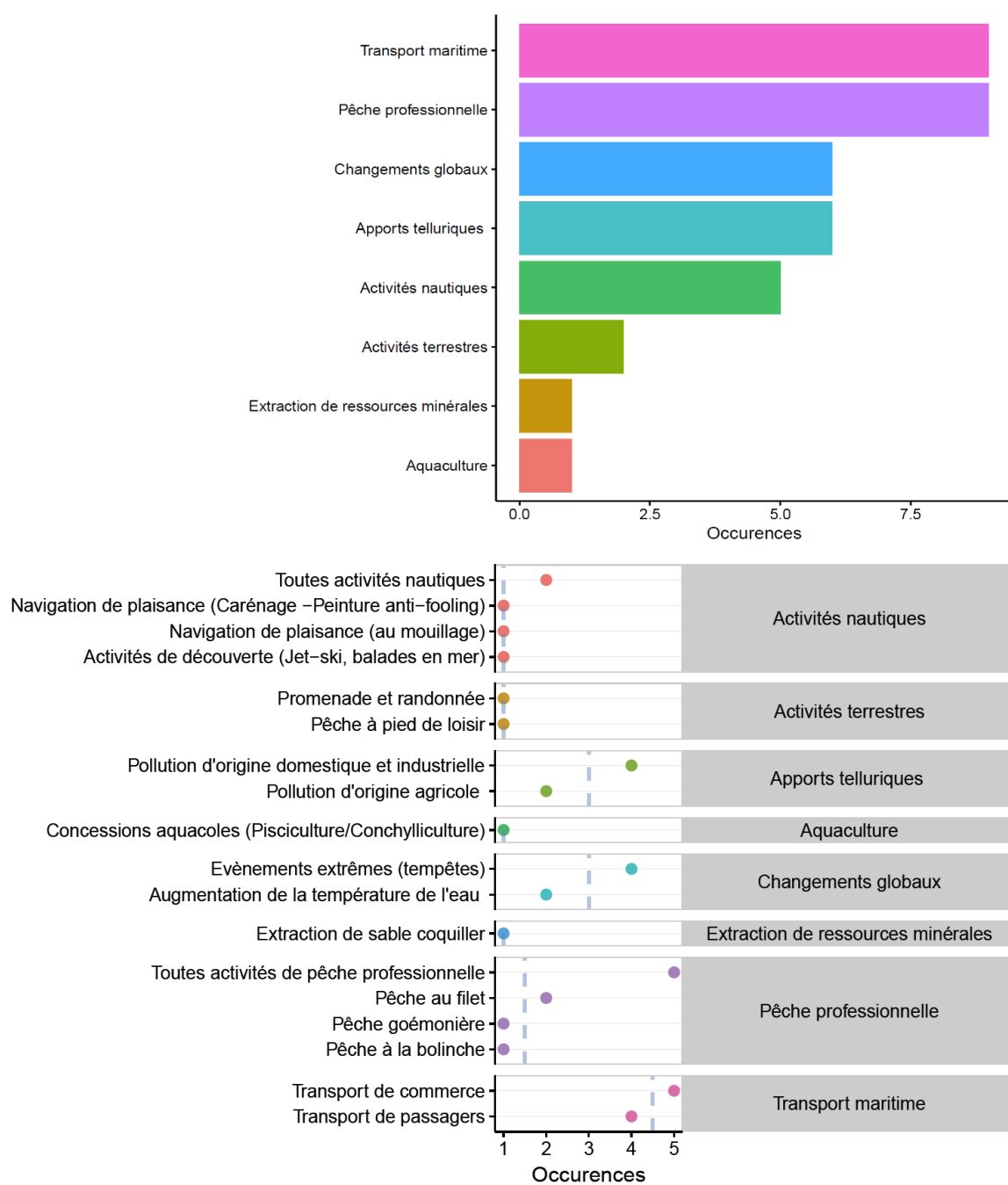


Figure 17. Activités citées comme sources de pressions.

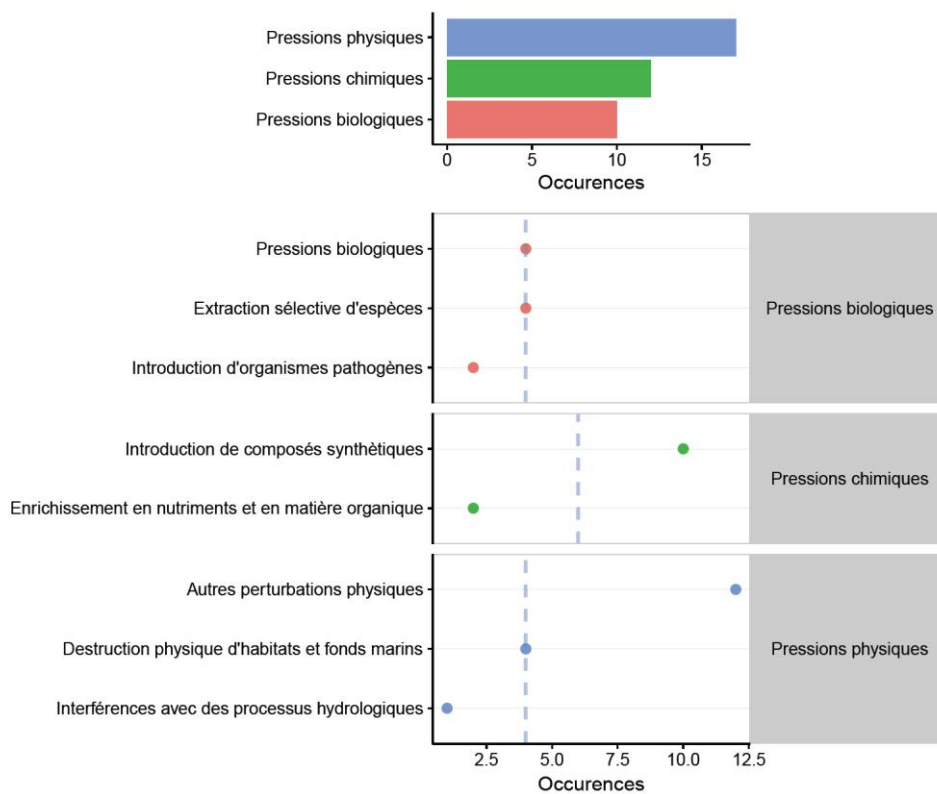


Figure 18. Pressions sur les composantes de l'écosystème citées.

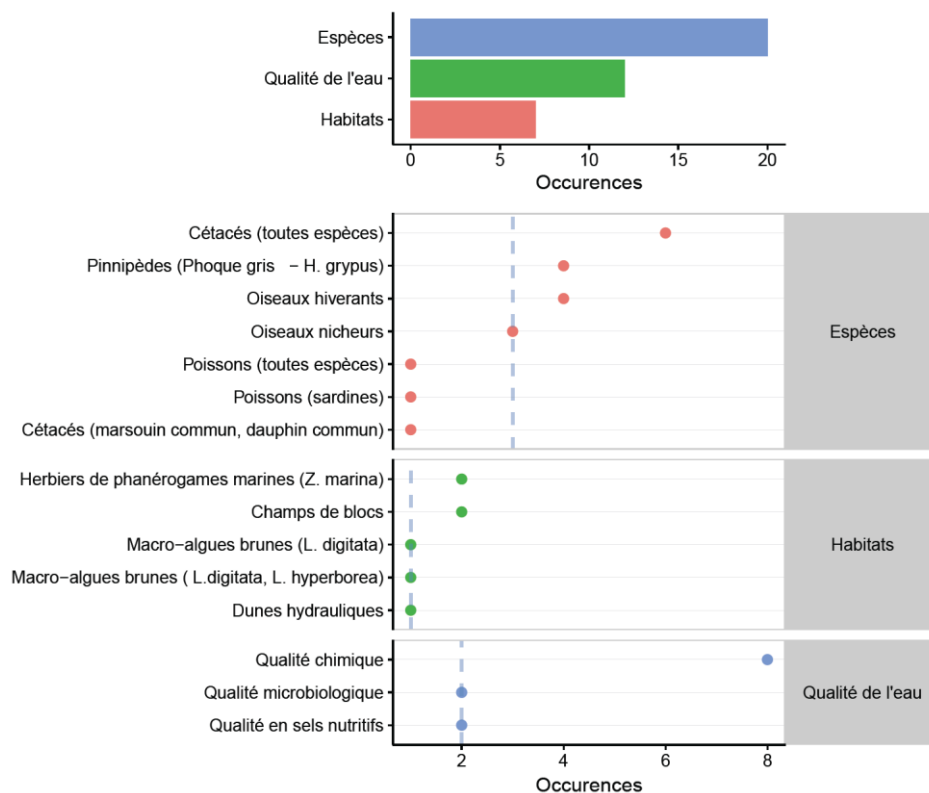


Figure 19. Composantes de l'écosystème sur lesquelles les pressions citées s'exercent.

Dictionnaire d'information géographique

L'information géographique concernant les 13 activités anthropiques et les 26 composantes de l'écosystème citées lors des deux ateliers et disponible sur le territoire du PNMI a été recensée grâce à la consultation de six infrastructures de données géographiques en ligne (pour plus de détail voir Roïc (2015)).

Cet inventaire montre qu'il existe une information géographique concernant la moitié des composantes de l'écosystème citées. Cependant cette information est jugée *a priori* potentiellement utilisable pour le calcul d'un indice d'impacts cumulés pour 30% (n=7) des composantes. Le critère d'utilisation potentielle est défini de manière qualitative au regard des informations disponibles dans le dictionnaire des données et de nos connaissances sur le déroulement de la méthode (Roïc, 2015).

En ce qui concerne les activités, l'inventaire identifie l'existence d'une information géographique concernant également la moitié des activités citées. Toutefois, aucune de ces couches d'information ne serait suffisante pour décrire une activité dans le cas d'une utilisation potentielle pour le calcul d'un indice d'impacts cumulés.

Suite à l'analyse de cet inventaire, le constat est clair : l'information géographique actuellement disponible ne permet, en l'état, de procéder au calcul des impacts cumulés sur le territoire du PNMI et en particulier concernant les activités humaines. Des problèmes de qualité et d'indisponibilité perdurent.

2.5. Conclusion

Les objectifs du volet 2 de DACTARI consistaient à questionner la pertinence et la faisabilité de l'estimation spatiale des impacts cumulés à une échelle locale. D'après la littérature scientifique, l'approche semble couramment employée à des échelles globale et régionale, mais aucun cas d'application local n'est recensé.

La mise en œuvre complète de cette démarche complexe impliquant certaines conditions préalables (travail en équipe pluridisciplinaire, données accessibles, temps...), nous nous sommes concentrés sur les trois premières étapes intervenant dans la production d'indices d'impacts cumulés. Des gestionnaires et un expert scientifique ont été mobilisés afin de recenser les activités anthropiques, les pressions et les composantes de l'écosystème prioritaires en termes de gestion et de conservation sur le territoire du PNMI. Si les études recensées précédemment explicitent les données mobilisées dans le calcul de l'indice, les pressions prises en compte reposent sur des connaissances scientifiques et sur la disponibilité d'information géographique. Les pressions omises dans le calcul ne sont pas précisées.

Des résultats des ateliers découle un constat mitigé. Sur la question de la pertinence d'une telle approche à cette échelle, les experts du PNMI ont montré un intérêt sans que cela constitue une priorité. En dépit des problèmes méthodologiques cités précédemment, la conduite d'atelier auprès d'experts nous paraît un élément important dans l'inventaire des pressions prioritaires à prendre en compte au niveau local. Pour cela, un groupe d'experts diversifiés du point de vue disciplinaire pourrait permettre de dresser un diagnostic plus complet des pressions. L'inventaire de l'information géographique disponible met aussi en évidence de nombreuses lacunes informationnelles qui

empêchent le calcul des impacts cumulés sur le territoire du PNMI. Certaines de ces données pourraient néanmoins être utilisées à court terme moyennant un effort supplémentaire d'analyse spatiale. Toutefois, pour certaines pressions, un effort beaucoup plus important, aussi bien méthodologique que thématique, est indispensable pour permettre de convertir une information spatialisée concernant les activités en information relative à la pression exercée à cette échelle. Par la suite, l'effort à consentir afin de constituer les indices de vulnérabilité pour chaque association composante de l'écosystème/pression à partir de la littérature et à dire d'experts, n'est probablement pas moindre.

De cette expérimentation, il ressort que la mise en œuvre de l'indice d'impact cumulé spatialisé à une échelle locale requiert, entre autre, un environnement favorable du point de vue de la contribution pluridisciplinaire des scientifiques et experts impliqués, et d'un temps de recherche adapté. En conséquence, l'étude ne nous a pas permis de questionner l'intérêt de l'usage d'un tel indice dans des démarches prospectives et de gestion, même si ce souhait a été exprimé par les experts du PNMI.

3. Volet 3 : Valorisation, transfert, développement

- Décembre 2014-septembre 2016
- Participants : LETG, Terra Maris

Ce volet transversal a bénéficié du soutien du projet collaboratif SIMARIS associant Terra Maris et LETG-Brest (Financement Région Bretagne 2014-2016 – programme accompagnement des projets structurants de recherche collaborative). En parallèle et en complémentarité avec DACTARI, SIMARIS vise à développer une gamme de services innovants pour l'aide à la gestion intégrée des usages de la mer et du littoral.

Ce volet visait trois objectifs principaux :

1. Assurer une valorisation scientifique du projet *via* des publications et des communications ;
2. Evaluer les résultats du projet au regard des besoins actuels et futurs des gestionnaires et acteurs du monde maritime ;
3. Envisager le transfert des résultats pouvant *a priori* faire l'objet d'une valorisation commerciale par le bureau d'étude à l'issue du projet.

3.1. Valorisation scientifique

Publication soumise :

Le Guyader, D., Ray, C., Brosset, D., Gourmelon F., en révision. Defining high resolution fishing grounds with Automatic Identification System (AIS). *ICES Journal of Marine Science*.

Publication en cours de rédaction :

Le Tixerant M., Le Guyader D., Gourmelon F. *et al.*, en préparation. L'AIS, une donnée pertinente pour l'aide à la mise en œuvre de la Planification de l'Espace Maritime ? Revue ciblée : *Vertigo* ou *Cybergeog*

Chapitre d'ouvrage :

Le Guyader D., Ray C., Brosset D. (*in press*). « Identification of fishing zones at local scale in France using AIS data », in: Advances in Shipping Data Analysis and Modeling. Tracking and Mapping Maritime Flows in the Age of Big Data. Studies in Transport Analysis.

Conférences scientifiques :

Le Guyader, D., Ray, C., Brosset, D., 2015. Caractérisation spatio-temporelle de l'activité de pêche à la drague en rade de Brest par analyse de données AIS. In De la côte à l'océan : l'information géographique en mouvement. Colloque merIGéo, 24-26 novembre 2015, <http://www.merigeo.fr/Presentation>, Brest, France.

Le Tixerant M., Gourmelon F., 2015. LETG-Brest – Terra Maris : vers une véritable collaboration d'intérêt mutuel ? Colloque Co-Sciences – Construire ensemble l'innovation de demain ; Septembre 2015 – Brest Océanopolis, 23-25 septembre 2015, <https://cosciences2015.sciencesconf.org/>, Brest, France.

Le Guyader, D., Ray, C., Brosset, D., 2016. Defining fishing grounds variability with Automatic Identification System (AIS). In 2nd International Workshop on Maritime Flows and Networks (WIMAKS'16). Paris.

Conférences dans le cadre du programme « Quels littoraux pour demain ? » de la Fondation de France :

Gourmelon F., 2014. Présentation du projet DACTARI. Journées du Littoral, Paris.

Gourmelon F., Le Guyader D., Le Tixerant M., 2016. Présentation des résultats du projet DACTARI (Dynamique des Activités Humaines). Journées du Littoral, Paris.

Le Tixerant M., 2016. Déroulement spatio-temporel de l'activité de pêche à la drague en rade de Brest par le traitement de données AIS. Résultats du projet DACTARI. Rencontre « Quels littoraux pour demain en Bretagne-Loire ? », Brest, 6-8 octobre 2016.

3.2. Evaluation des résultats par les gestionnaires

L'évaluation des résultats a été réalisée grâce à une série d'entretiens semi-directifs auprès de différents organismes potentiellement intéressés par la thématique.

Les entretiens

Les entretiens semi-directifs se sont déroulés préférentiellement *de visu* dans les locaux des organismes. L'entretien débutait par une présentation de DACTARI se focalisant principalement sur les types de résultats obtenus (exemples d'informations produites). Sachant que nous avons volontairement choisi d'élargir le champ de la présentation en intégrant des résultats issus d'autres projets de recherche sur cette thématique menés par LETG et Terra Maris depuis plusieurs années (projet Liteau Ra2Brest, projet CARTAHU, projet SIMARIS). Dans un second temps, la discussion était structurée selon les principales questions suivantes :

- Vos objectifs de gestion ? Des besoins spécifiques, sectoriels (ex : suivi prioritaire sur 1 type d'usage, étude de risque sur une infrastructure, étude d'impact potentiel sur d'une activité sur une espèce, un habitat...) ? Ou besoin d'une vision globale du système et de l'interdépendance entre les différents usages d'un espace marin dans un objectif de gestion intégrée, de planification de l'espace maritime ?
- Des besoins d'informations sur quels types d'usages, d'activités ?
- A quelles échelles spatiales et temporelles ?
- Pour quel type d'information (sectoriel ; interactions entre activités ; interactions activités-milieu ; simulation prospective élaborée sur la base de scénarios) ?
- Pour quel niveau d'information (donnée brute, donnée prétraitée, couche d'information géographique, bases de données, indicateurs)
- Quel mode de représentation privilégié ? Cartographies ? Graphiques ? Matrices ? Autres ? Diffusion interactive en ligne *via* une Infrastructure de Données Spatiales ?

L'objectif était non seulement d'évaluer l'intérêt des résultats obtenus mais aussi pour Terra Maris d'identifier des potentialités de marché à court et moyen termes (condition *sine qua non* au transfert des résultats vers l'entreprise).

Les organismes rencontrés

- Direction inter-régionale de la mer Nord-Atlantique Manche-Ouest (DIRM NAMO)
- Agence des Aires Marines Protégées (AAMP)
- Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CDPMEM) du Finistère
- Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de Bretagne
- Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
- WWF France
- EDF Energie Nouvelles

Bilan des entretiens

Ces entretiens ont permis de confirmer que les résultats scientifiques de DACTARI (volets 1 et 2) présentaient un intérêt pour la majorité des organismes rencontrés. Des besoins justifiant la mise en œuvre de travaux de R&D complémentaires sont également exprimés et confirmés afin d'être en mesure, aux différentes échelles (macro – meso – micro) de :

- Produire, à partir de données AIS une information sur le trafic maritime adaptée et optimisée pour l'aide à la planification de l'espace maritime (routes maritimes homogènes (couloirs), réseaux hiérarchisés de voies maritimes (primaire, secondaire, tertiaire...), flux spatialisés de navires...) (volet 1)
- Produire, à partir de données AIS une information pertinente sur la pêche maritime en testant les méthodologies sur d'autres engins et aux différentes échelles (volet 1)
- Mettre en évidence les interactions spatio-temporelles entre activités en intégrant une matrice de compatibilité afin d'identifier des conflits d'usage potentiels (volet 1)
- Mettre en évidence des pressions et les impacts cumulés (volet 2)
- Proposer des méthodologies et des outils permettant de construire des visions (géo)prospectives du déroulement des usages (volets 1 et 2).

3.3. Transfert vers l'entreprise

Le transfert vers l'entreprise implique sa capacité à mobiliser de manière rentable les résultats issus du projet dans le cadre de commandes de prestations de service par des clients. Sur le plan du marché, les entretiens réalisés ont permis de confirmer deux grands types de commandes potentielles :

- Commande publique dans le cadre de la mise en œuvre de la DCPEM et de la DCSMM. La collaboration en cours de Terra Maris avec le SHOM laisse présager des perspectives sur ce segment (financement de projets par la Commission Européenne – DG MARE). Il faut cependant noter qu'au niveau national les budgets publics dans ce domaine restent très limités, ce qui peut expliquer la stratégie des administrations de solliciter dans un premier temps des collaborations avec des partenaires scientifiques exclusivement (capacité de co-financement)

- Commande privé / semi-publique dans le cadre de projets d'aménagement d'infrastructures en mer et notamment des Energies Marines Renouvelables (EMR). Des projets valorisant les acquis de DACTARI sont d'ores et déjà réalisés ou en cours (cf. ci-dessous).

Transfert de compétences laboratoire-entreprise

La présence des compétences techniques nécessaires au sein de l'entreprise est un préalable indispensable. Suite à son post-doc CNRS réalisé dans le cadre de DACTARI au sein du laboratoire LETG-Brest, Damien Le Guyader a donc été embauché à plein temps par Terra Maris en tant qu'ingénieur R&D *via* un Contrat à Durée Indéterminée (CDI).

Optimisation et adaptation des outils dans un contexte entreprise

Le transfert des méthodes et des outils développés au laboratoire implique une adaptation et une optimisation afin d'en garantir une exploitation efficace et rentable par l'entreprise. L'effort est porté en priorité sur les outils pouvant faire l'objet d'une commande à court terme (prise en compte des marchés potentiels existants). En fonction de l'intérêt des gestionnaires (et donc de l'existence d'un marché potentiel), Terra Maris a procédé à un repérage :

- des outils d'analyse les plus pertinents (chaîne de traitement des données AIS, indices relatifs aux intersections spatio-temporelles entre activités et à la densité cumulée de supports, tableaux de bord socio-écosystémiques, simulations...),
- des représentations les plus innovantes (matrices, flux, simulations).

La phase de transfert consiste ensuite à :

- élaborer des protocoles méthodologiques standardisés,
- mettre en œuvre des démonstrateurs (applications opérationnelles sur des zones d'étude),
- concevoir et développer des outils logiciels permettant d'automatiser la production des résultats. *A minima* un cahier des charges pour le développement de l'outil est réalisé.

Grâce au transfert des méthodologies et technologies développées dans le cadre volet 1 de DACTARI, l'entreprise Terra Maris a pu se positionner et remporter, en collaboration avec la société Artélia, deux marchés significatifs dans le domaine des risques liés à la navigation maritime. Une réponse à un appel d'offres (dans le cadre d'un accord cadre) vient juste d'être déposée. De plus afin de poursuivre les développements réalisés, Terra Maris a déposé une demande de financement dans le cadre d'un appel à projets thématique du PIAVE « Produits et services valorisant les informations issues du domaine spatial ». Le projet concerne l'exploitation des données AIS dans un objectif opérationnel d'aide à la planification de l'espace maritime et comporte 3 axes abordés selon une approche multi-échelles :

- Données AIS pour la caractérisation du trafic maritime,
- Données AIS pour la caractérisation de la pêche maritime,
- Données AIS pour contribuer à la mise en œuvre des interactions spatio-temporelles entre activités.

Seront associés au projet trois laboratoires de recherche : CNRS (UMR LETG), l'IRENAV et l'IRD (UMR LEMAR). Le SHOM en tant que partenaire utilisateur a manifesté son intérêt et propose une collaboration dans le cadre du projet SIMCelt relatif à la planification de l'espace maritime en mer celtique (cf. 3.2). Le projet est soutenu par le Pôle Mer Bretagne Atlantique dans le cadre du projet Booster MORESPACE.

4. Bibliographie

- Andersen J. H., Halpern B. S., Korpinen S., Murray C., Reker J., 2015, « Baltic Sea biodiversity status vs. cumulative human pressures », *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol.161, 88–92.
- Andersen J. H., Stock A., Mannerla M., Meski L., Heinemann S., Vinther M., 2012, *Human uses, pressures and impacts in the Eastern North Sea*. National Centre for Environment and Energy), Aarhus University, Denmark.
- Baddeley A., Turner R., 2005, « Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns », *Journal of statistical software*, vol.12, No.6, 1–42.
- Baddeley A., Turner R., Møller J., Hazelton M., 2005, « Residual analysis for spatial point processes », *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, vol.67, No.5, 617–666.
- Ban N. C., Alidina H. M., Ardron J. A., 2010, « Cumulative impact mapping: Advances, relevance and limitations to marine management and conservation, using Canada's Pacific waters as a case study », *Marine Policy*, vol.34, No.5, 876–886.
- Barnes J., Hut P., 1986, « A hierarchical $O(N \log N)$ force-calculation algorithm », *Nature*, vol.324, No.6096, 446–449.
- Bastardie F., Nielsen J. R., Ulrich C., Egekvist J., Degel H., 2010, « Detailed mapping of fishing effort and landings by coupling fishing logbooks with satellite-recorded vessel geo-location », *Fisheries Research*, vol.106, No.1, 41–53.
- Batista M. I., Henriques S., Pais M. P., Cabral H. N., 2014, « Assessment of cumulative human pressures on a coastal area: Integrating information for MPA planning and management », *Ocean & Coastal Management*, vol.102, Part A, 248–257.
- Berman M., 1986, « Testing for spatial association between a point process and another stochastic process », *Applied Statistics*, 54–62.
- Borja A., 2014, « Grand challenges in marine ecosystems ecology », *Frontiers in Marine Ecosystem Ecology*, vol.1, 1.
- Calenge C., Dray S., Royer-Carenzi M., 2009, « The concept of animals' trajectories from a data analysis perspective », *Ecological informatics*, vol.4, No.1, 34–41.
- Campbell M. S., Stehfest K. M., Votier S. C., Hall-Spencer J. M., 2014, « Mapping fisheries for marine spatial planning: Gear-specific vessel monitoring system (VMS), marine conservation and offshore renewable energy », *Marine Policy*, vol.45, 293–300.
- Clarke Murray C., Agbayani S., Alidina H. M., Ban N. C., 2015, « Advancing marine cumulative effects mapping: An update in Canada's Pacific waters », *Marine Policy*, vol.58, 71–77.
- Coll M., Piroddi C., Albouy C., Ben Rais Lasram F., Cheung W. W. L., Christensen V., *et al.*, 2012, « The Mediterranean Sea under siege: spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves », *Global Ecology and Biogeography*, vol.21, No.4, 465–480.
- Delfour-Samama O., Leboeuf C., 2014, « Review of potential legal frameworks for effective implementation and enforcement of MPAs in the high seas », *ICES Journal of Marine Science*, vol.71, No.5, 1031–1039.
- Demšar U., Buchin K., Cagnacci F., Safi K., Speckmann B., Weghe N. V. de, *et al.*, 2015, « Analysis and visualisation of movement: an interdisciplinary review », *Movement Ecology*, vol.3, No.1, 5.
- Depestele J., Courtens W., Degraer S., Haelters J., Hostens K., Leopold M., *et al.*, 2014, « Sensitivity assessment as a tool for spatial and temporal gear-based fisheries management », *Ocean & Coastal Management*, vol.102, 149–160.
- Dinmore T., Duplisea D. E., Rackham B. D., Maxwell D. L., Jennings S., 2003, « Impact of a large-scale area closure on patterns of fishing disturbance and the consequences for benthic communities », *ICES Journal of Marine Science*, vol.60, No.2, 371–380.
- Dray S., Dufour A.-B., others., 2007, « The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists », *Journal of statistical software*, vol.22, No.4, 1–20.
- EC., 2002, « Council Regulation (EC) No. 2371/2002 of 20 December 2002 on the conservation and sustainable exploitation of fisheries resources under the Common Fisheries Policy », *Official Journal*, 59–80.
- EC., 2003, « Commission Regulation (EC) No 2244/2003 of 18 December 2003 laying down detailed provisions regarding satellite-based Vessel Monitoring Systems », *Official Journal*, 17–27.
- EC., 2009, « Council Regulation (EC) No 1224/2009 of 20 November 2009 establishing a Community control system for ensuring compliance with the rules of the common fisheries policy, amending Regulations (EC) No 847/96, (EC) No 2371/2002, (EC) No 811/2004, (EC) No 768/2005, (EC) No 2115/2005, (EC) No 2166/2005, (EC) No 388/2006, (EC) No 509/2007, (EC) No 676/2007, (EC) No 1098/2007, (EC) No 1300/2008, (EC) No 1342/2008 and repealing Regulations (EEC) No 2847/93, (EC) No 1627/94 and (EC) No 1966/2006 », *Official Journal*, 1–50.

- Eigaard O. R., Bastardie F., Breen M., Dinesen G. E., Hintzen N. T., Laffargue P., *et al.*, 2016, « Estimating seabed pressure from demersal trawls, seines, and dredges based on gear design and dimensions », *ICES Journal of Marine Science*, vol.73, No.suppl 1, i27- i43.
- Enguehard R. A., Hoeber O., Devillers R., 2013, « Interactive exploration of movement data: A case study of geovisual analytics for fishing vessel analysis », *Information Visualization*, vol.12, No.1, 65- 84.
- Etienne M., Du Toit D. R., Pollard S., 2011, « ARDI: a co-construction method for participatory modeling in natural resources management », *Ecology and Society*, vol.16, No.1, 44.
- Fraley C., Raftery A. E., 2002, « Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation », *Journal of the American Statistical Association*, vol.97, No.458, 611-631.
- Fraley C., Raftery A. E., Murphy T. B., Scrucca L., 2012, *mclust Version 4 for R: Normal Mixture Modeling for Model-Based Clustering, Classification, and Density Estimation*. Department of Statistics, University of Washington. <http://cran.r-project.org/web/packages/mclust/index.html>
- Gerritsen H., Lordan C., 2011, « Integrating vessel monitoring systems (VMS) data with daily catch data from logbooks to explore the spatial distribution of catch and effort at high resolution », *ICES Journal of Marine Science*, vol.68, No.1, 245- 252.
- Gloaguen P., Mahévas S., Rivot E., Woillez M., Guitton J., Vermard Y., *et al.*, 2015, « An autoregressive model to describe fishing vessel movement and activity », *Environmetrics*, vol.26, No.1, 17- 28.
- Gourmelon F., Le Guyader D., Fontenelle G. 2014, « A dynamic GIS as an efficient tool for Integrated Coastal Zone Management », *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(2), 391-407, doi:10.3390/ijgi3020391, <http://www.mdpi.com/2220-9964/3/2/391>
- Gourmelon F., Le Guyader D., Fontenelle G., Levrel H., Tissot C., Bonneau De Beaufort L., *et al.*, 2013, *Modélisation et scénarisation des activités humaines en rade de Brest*. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00797154>
- Halpern B. S., Fujita R., 2013, « Assumptions, challenges, and future directions in cumulative impact analysis », *Ecosphere*, vol.4, No.10, art131.
- Halpern B. S., Kappel C. V., Selkoe K. A., Micheli F., Ebert C. M., Kontgis C., *et al.*, 2009, « Mapping cumulative human impacts to California Current marine ecosystems », *Conservation Letters*, vol.2, No.3, 138-148.
- Halpern B. S., Selkoe K. A., Micheli F., Kappel C. V., 2007, « Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats », *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, vol.21, No.5, 1301- 1315.
- Halpern B. S., Walbridge S., Selkoe K. A., Kappel C. V., Micheli F., D'Agrosa C., *et al.*, 2008, « A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems », *Science*, vol.319, No.5865, 948- 952.
- HELCOM., 2010, « Towards a tool for quantifying anthropogenic pressures and potential impacts on the Baltic Sea marine environment: A background document on the method, data and testing of the Baltic Sea Pressure and Impact Indices », *Baltic Sea Environment Proceedings*, No.125.
- Hengl T., van Loon E., Henk Sierdsema, Bouten W., 2008, « Advancing Spatio-temporal Analysis of Ecological Data: Examples in R », 692- 707in: O. Gervasi, B. Murgante, A. Laganà, D. Taniar, Y. Mun, & M. L. Gavrilova (Éd.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2008*. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-69839-5_51
- Hijmans R. J., Etten J. van, Mattiuzzi M., Sumner M., Greenberg J. A., Lamigueiro O. P., *et al.*, 2015, *raster: Geographic data analysis and modeling*. <http://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html>
- Hintzen N. T., Bastardie F., Beare D., Piet G. J., Ulrich C., Deporte N., *et al.*, 2012, « VMStools: Open-source software for the processing, analysis and visualisation of fisheries logbook and VMS data », *Fisheries Research*, vol.115-116, 31- 43.
- Holling C. S., 1978, *Adaptive environmental assessment and management*. Chichester, J. Wiley, 377 p . <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=152518&indexSearch=ID>
- Høye G. K., Eriksen T., Meland B. J., Narheim B. T., 2008, « Space-based AIS for global maritime traffic monitoring », *Acta Astronautica*, vol.62, No.2, 240-245.
- Jennings S., Lee J., 2012, « Defining fishing grounds with vessel monitoring system data », *ICES Journal of Marine Science*, vol.69, No.1, 51- 63.
- Joo R., Bertrand S., Tam J., Fablet R., 2013, « Hidden Markov Models: The Best Models for Forager Movements? », *PLoS ONE*, vol.8, No.8, e71246.

- Kappel C. V., Halpern B. S., Napoli N., 2012, *Mapping Cumulative Impacts of Human Activities on Marine Ecosystems*. Boston, Massachusetts, Sea Plan. http://seaplan.org/wp-content/uploads/2012/01/mapping_cumulative_indicators-nceas-12.pdf
- Kappel C. V., Halpern B. S., Selkoe K. A., Cooke R. M., 2012, « Eliciting Expert Knowledge of Ecosystem Vulnerability to Human Stressors to Support Comprehensive Ocean Management », 253- 277in: A. H. Perera, C. A. Drew, & C. J. Johnson (Éd.), *Expert Knowledge and Its Application in Landscape Ecology*. Springer New York. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-1034-8_13
- Kelly C., Gray L., Shucksmith R. J., Tweddle J. F., 2014, « Investigating options on how to address cumulative impacts in marine spatial planning », *Ocean & Coastal Management*, vol.102, Part A, 139- 148.
- Koehn J. Z., Reineman D. R., Kittinger J. N., 2013, « Progress and promise in spatial human dimensions research for ecosystem-based ocean planning », *Marine Policy*, vol.42, 31- 38.
- Korpinen S., Meski L., Andersen J. H., Laamanen M., 2012, « Human pressures and their potential impact on the Baltic Sea ecosystem », *Ecological Indicators*, vol.15, No.1, 105-114.
- Large S. I., Fay G., Friedland K. D., Link J. S., 2015, « Quantifying Patterns of Change in Marine Ecosystem Response to Multiple Pressures », *PLoS ONE*, vol.10, No.3, e0119922.
- Le Guyader D., 2012, *Modélisation des activités humaines en mer côtière*. Brest, Université de Bretagne occidentale, 309 p. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00717420>
- Le Guyader D., Brosset D., Gourmelon F., 2011, « Exploitation de données AIS (Automatic Identification System) pour la cartographie du transport maritime », *M@ppemonde*, No.104 (4-2011), 15.
- Le Guyader D., Gourmelon F., 2013, « GIS spatio-temporal modeling of human maritime activities », in: *11th International Symposium for GIS and Computer Cartography for Coastal Zones Management*. Victoria, BC, Canada.
- Lee J., South A. B., Jennings S., 2010, « Developing reliable, repeatable, and accessible methods to provide high-resolution estimates of fishing-effort distributions from vessel monitoring system (VMS) data », *ICES Journal of Marine Science*, vol.67, No.6, 1260- 1271.
- Long J. A., Nelson T. A., 2012, « Time geography and wildlife home range delineation », *The Journal of Wildlife Management*, vol.76, No.2, 407- 413.
- Lotze H. K., Lenihan H. S., Bourque B. J., Bradbury R. H., Cooke R. G., Kay M. C., *et al.*, 2006, « Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas », *Science*, vol.312, No.5781, 1806- 1809.
- March D., Murciano C., Albaigés J., Sarda R., Tintoré J., 2013, « Spatial modelling of multiple pressures to support the implementation of the Marine Strategy Framework Directive and Maritime Spatial Planning », in: *Proceeding of CIESM*.
- McCauley D. J., Woods P., Sullivan B., Bergman B., Jablonicky C., Roan A., *et al.*, 2016, « Ending hide and seek at sea », *Science*, vol.351, No.6278, 1148- 1150.
- Micheli F., Halpern B. S., Walbridge S., Ciriaco S., Ferretti F., Fraschetti S., *et al.*, 2013, « Cumulative Human Impacts on Mediterranean and Black Sea Marine Ecosystems: Assessing Current Pressures and Opportunities », *PLoS ONE*, vol.8, No.12, e79889.
- Mills C. M., Townsend S. E., Jennings S., Eastwood P. D., Houghton C. A., 2007, « Estimating high resolution trawl fishing effort from satellite-based vessel monitoring system data », *ICES Journal of Marine Science*, vol.64, No.2, 248- 255.
- MNHN., 2012, *Méthode d'évaluation des risques de dégradation des habitats naturels et des espèces d'intérêt communautaire par les activités de pêche maritime*.
- Murtagh F., Legendre P., 2013, « Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? », <https://www.dora.dmu.ac.uk/xmlui/handle/2086/9212>
- Natale F., Gibin M., Alessandrini A., Vespe M., Paulrud A., 2015, « Mapping Fishing Effort through AIS Data », *PLOS ONE*, vol.10, No.6, e0130746.
- Pelot R., Plummer L., 2010, « Spatial Analysis of Traffic and Risks in the Coastal Zone », 227- 238in: D. R. Green (Éd.), *Coastal and Marine Geospatial Technologies*. Dordrecht, Springer Netherlands. <http://www.springerlink.com/content/w7g286868465w828/>
- Piet G. J., Quirijns F. J., Robinson L., Greenstreet S. P. R., 2007, « Potential pressure indicators for fishing, and their data requirements », *ICES Journal of Marine Science*, vol.64, No.1, 110- 121.
- Pieuzat I., Le Berre I., 2014, *CARTAHU – Cartographie des activités humaines en mer côtière: Expérimentations en mer d'Iroise*. Brest, France, GEOMER UMR6554 CNRS LETG, IUEM-UBO.
- R Core Team., 2016, *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>

- Robards M., Silber G., Adams J., Arroyo J., Lorenzini D., Schwehr K., *et al.*, 2016, « Conservation science and policy applications of the marine vessel Automatic Identification System (AIS)—a review », *Bulletin of Marine Science*, vol.92, No.1, 75- 103.
- Roïc E., 2015, *Faisabilité d'une démarche fondée sur la notion d'impacts cumulés au sein du Parc Naturel Marin d'Iroise*. LETG-Brest Géomer, UMR 6554 CNRS, IUEM-UBO, Brest.
- Russo T., D'Andrea L., Parisi A., Cataudella S., 2014, « VMSbase: An R-Package for VMS and Logbook Data Management and Analysis in Fisheries Ecology », *PLoS ONE*, vol.9, No.6, e100195.
- Russo T., D'Andrea L., Parisi A., Martinelli M., Belardinelli A., Boccoli F., *et al.*, 2016, « Assessing the fishing footprint using data integrated from different tracking devices: Issues and opportunities », *Ecological Indicators*, vol.69, 818- 827.
- Russo T., Parisi A., Cataudella S., 2013, « Spatial indicators of fishing pressure: Preliminary analyses and possible developments », *Ecological Indicators*, vol.26, 141- 153.
- Russo T., Parisi A., Prorgi M., Boccoli F., Cignini I., Tordoni M., *et al.*, 2011, « When behaviour reveals activity: Assigning fishing effort to métiers based on VMS data using artificial neural networks », *Fisheries Research*, vol.111, No.1-2, 53- 64.
- Schwarz G., 1978, « Estimating the dimension of a model », *The annals of statistics*, vol.6, No.2, 461-464.
- Selkoe K. A., Halpern B. S., Ebert C. M., Franklin E. C., Selig E. R., Casey K. S., *et al.*, 2009, « A map of human impacts to a "pristine" coral reef ecosystem, the Papahānaumokuākea Marine National Monument », *Coral Reefs*, vol.28, No.3, 635- 650.
- Shelmerdine R. L., 2015, « Teasing out the detail: How our understanding of marine AIS data can better inform industries, developments, and planning », *Marine Policy*, vol.54, 17- 25.
- Silverman B. ., 1986, « Density estimation for statistics and data analysis », 155in: D. R. Cox, D. . Hinkley, N. Reid, D. . Rubin, & B. . Silverman (Éd.), *Monographs on Statistics and Applied Probability*. London, Chapman & Hall.
- Souza E. N. de, Boerder K., Matwin S., Worm B., 2016, « Improving Fishing Pattern Detection from Satellite AIS Using Data Mining and Machine Learning », *PLOS ONE*, vol.11, No.7, e0158248.
- Stelzenmüller V., Lee J., South A., Rogers S., 2010, « Quantifying cumulative impacts of human pressures on the marine environment: a geospatial modelling framework », *Marine Ecology Progress Series*, vol.398, 19- 32.
- Sumner M. D., 2015, *trip: Tools for the Analysis of Animal Track Data*. <https://CRAN.R-project.org/package=trip>
- The PostgreSQL Global Development Group., 2014, *PostgreSQL*. <http://www.postgresql.org>
- Tidd A. N., Vermard Y., Marchal P., Pinnegar J., Blanchard J. L., Milner-Gulland E. J., 2014, « Fishing for space: fine-scale multi-sector maritime activities influence fisher location choice. », *PloS one*, vol.10, No.1, e0116335-e0116335.
- Vanstaen K., Silva T., 2010, *Integrated inshore and offshore fishing activities data layer in aggregate producing REC areas*. Lowestoft, Cefas.
- Vespe M., Gibin M., Alessandrini A., Natale F., Mazzarella F., Osio G. C., 2016, « Mapping EU fishing activities using ship tracking data », *Journal of Maps*, vol.0, No.0, 1- 6.
- Ward J. H., 1963, « Hierarchical grouping to optimize an objective function », *Journal of the American statistical association*, vol.58, No.301, 236-244.
- Warren D. L., Glor R. E., Turelli M., 2008, « Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution », *Evolution*, vol.62, No.11, 2868-2883.

Annexe 1 : Volet 1



Figure S1 : Proportion spécifiques des poids débarqués A) par navires et B) par espèce (Fo : huître plate, Gs : coquille Saint-Jacques, Vs : pétoncle noir, Wv : praire).

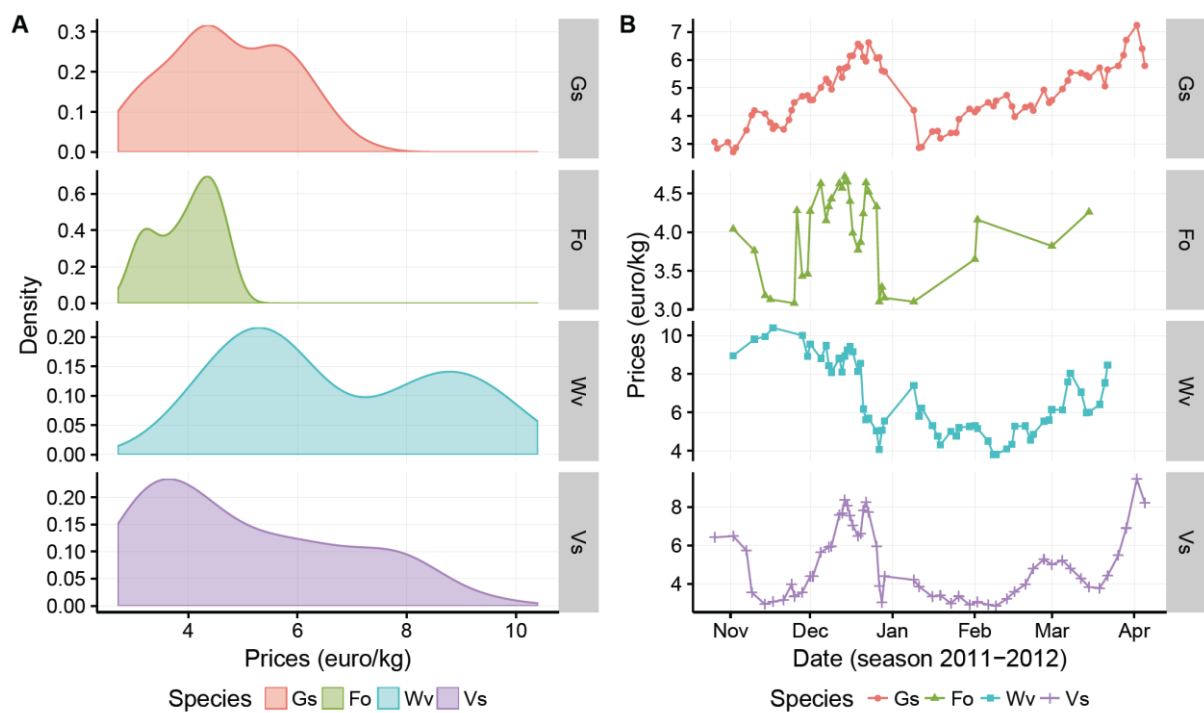


Figure S2 : A) Densité des prix de vente à la criée et B) variation des prix durant la saison 2011-2012 par espèce (Gs: coquille Saint-Jacques, Fo: huître plate, Wv: praire et Vs: pétoncle noir).

Annexe 2 : Volet 2

Tableau 1. Liste des activités anthropiques, des pressions et des composantes de l'écosystème citées pour les quatre enjeux définis par les chargés de mission du PNMI (Roïc, 2015).

Activités anthropiques	Pressions anthropiques	Composantes de l'écosystème
Activités de découverte du milieu	Captures accidentelles	Bancs de maërl
Apports telluriques	Dérangement physique	Cétacés
Aquaculture	Diminution des ressources	Champs de blocs
Changement climatique	Extraction de ressources	Dunes hydrauliques
Episodes extrêmes	Libération de bactéries	Herbiers de phanérogames
Epuration	Libération de macro-déchets	Macro-algues brunes
Extraction de granulats	Libération d'organochlorés	Oiseaux hivernants
Nautisme (mouillages)	Nuisances sonores	Oiseaux nicheurs
Pêche	Ragage / étouffement	Peuplement benthique
Pêche à la bolinche	Rejets d'hydrocarbures	Pinnipèdes
Pêche à pied	Retournement de blocs	Poissons, mollusques, crustacés
Pêche goémonière	Libération de biocides	Sardines
Plaisance	Réchauffement des eaux	
Transport maritime de passagers		
Trafic maritime		

Tableau 2. Liste des activités anthropiques, des pressions et des composantes de l'écosystème citées pour l'enjeu de conservation des populations de mammifères marins (Roïc, 2015).

Activités anthropiques	Pressions anthropiques	Composantes de l'écosystème
Trafic maritime	Captures accidentelles	Marsouin commun
Surpêche	Dérangement physique	Dauphin commun
Pêche au filet	Diminution des ressources	Phoque gris
Fréquentation	Nuisances sonores	Grand dauphin
Changements globaux	Episodes extrêmes	
	Réchauffement des eaux	

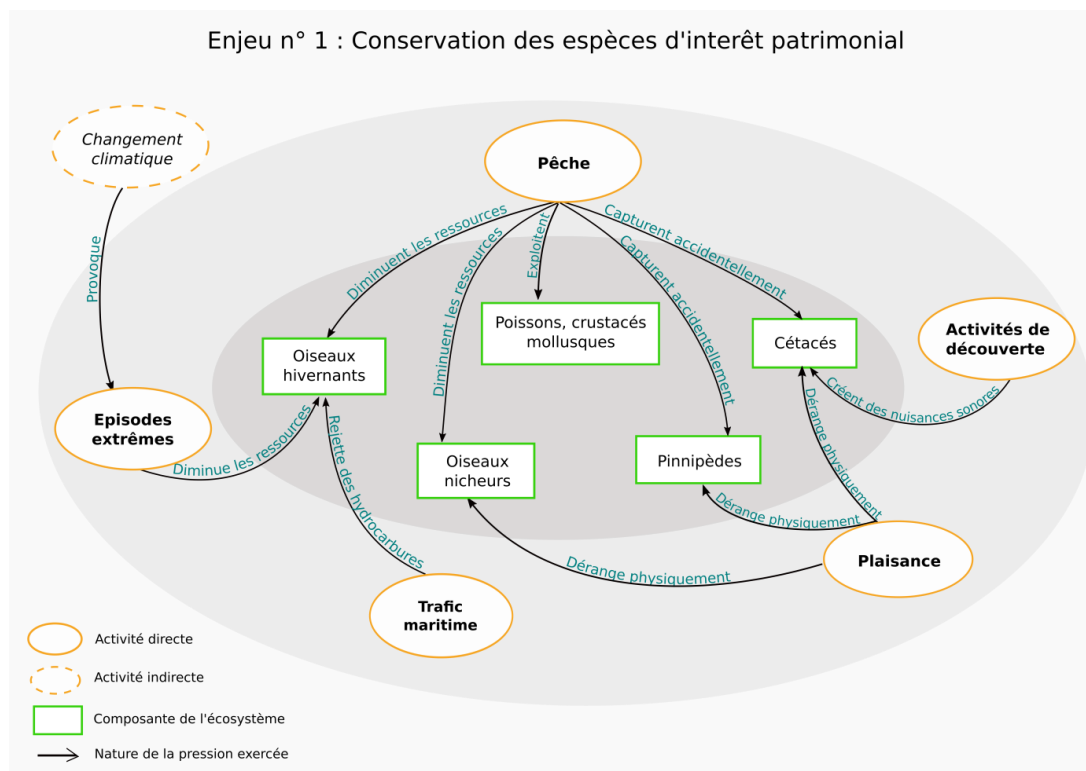


Figure 1. Modèle conceptuel de l'enjeu de conservation des espèces d'intérêt patrimonial (Roïc, 2015).

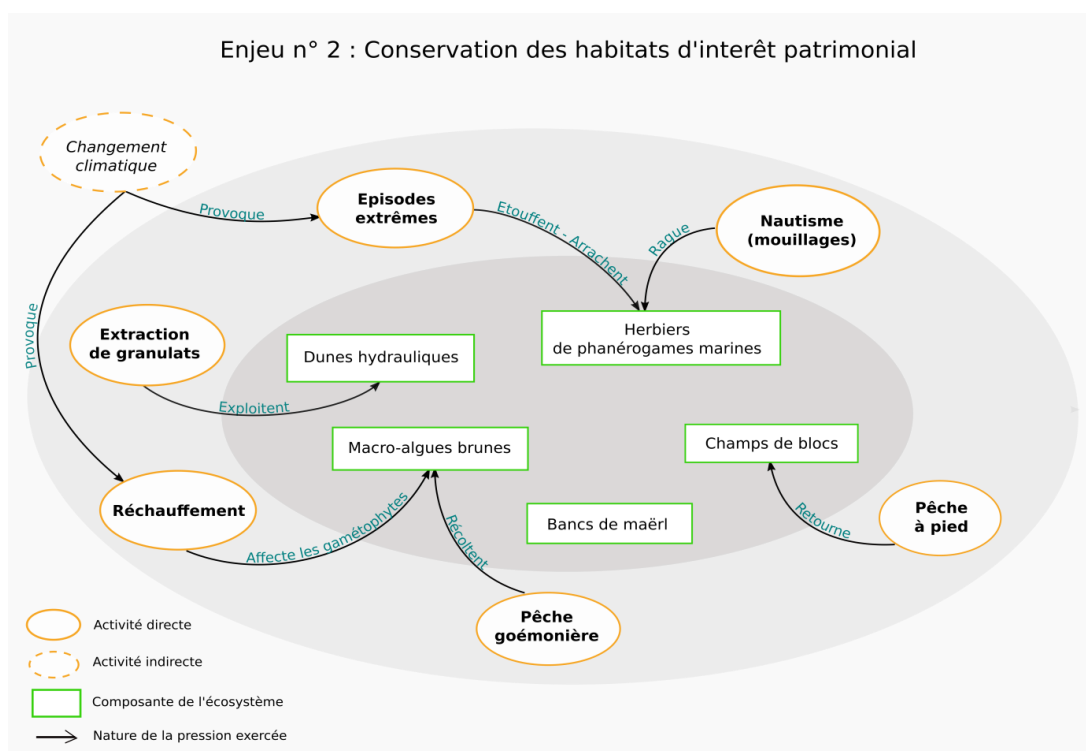


Figure 2. Modèle conceptuel de l'enjeu de conservation des habitats d'intérêt patrimonial (Roïc, 2015).

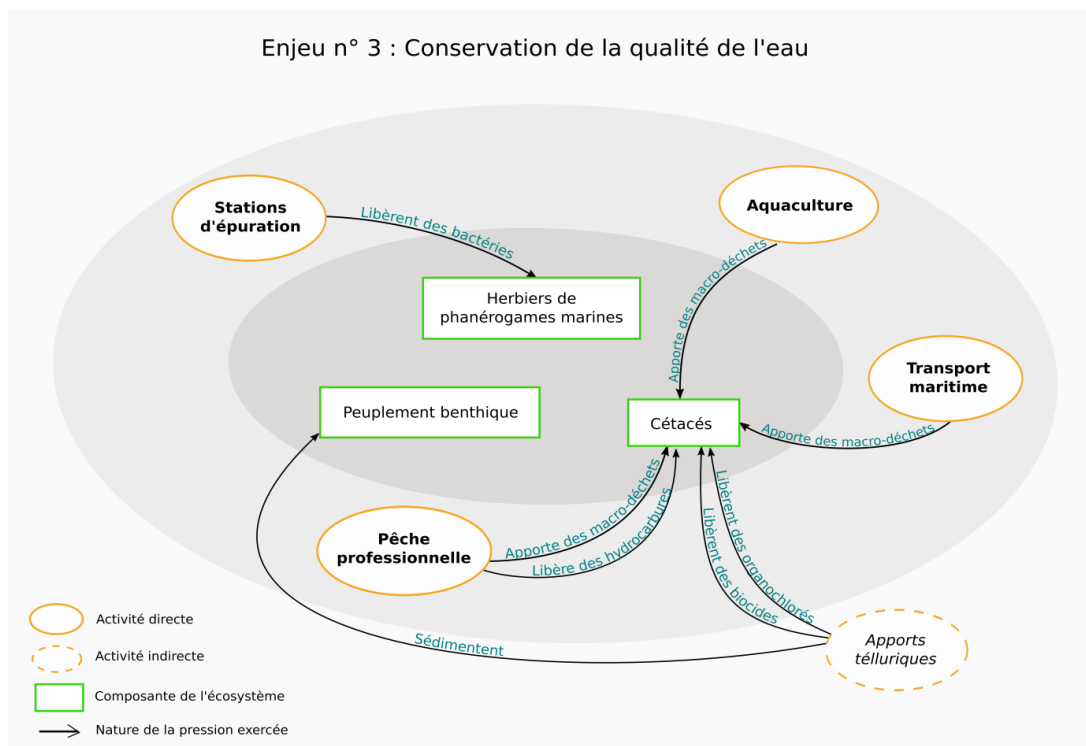


Figure 3. Modèle conceptuel de l'enjeu de conservation de la qualité de l'eau (Roïc, 2015).

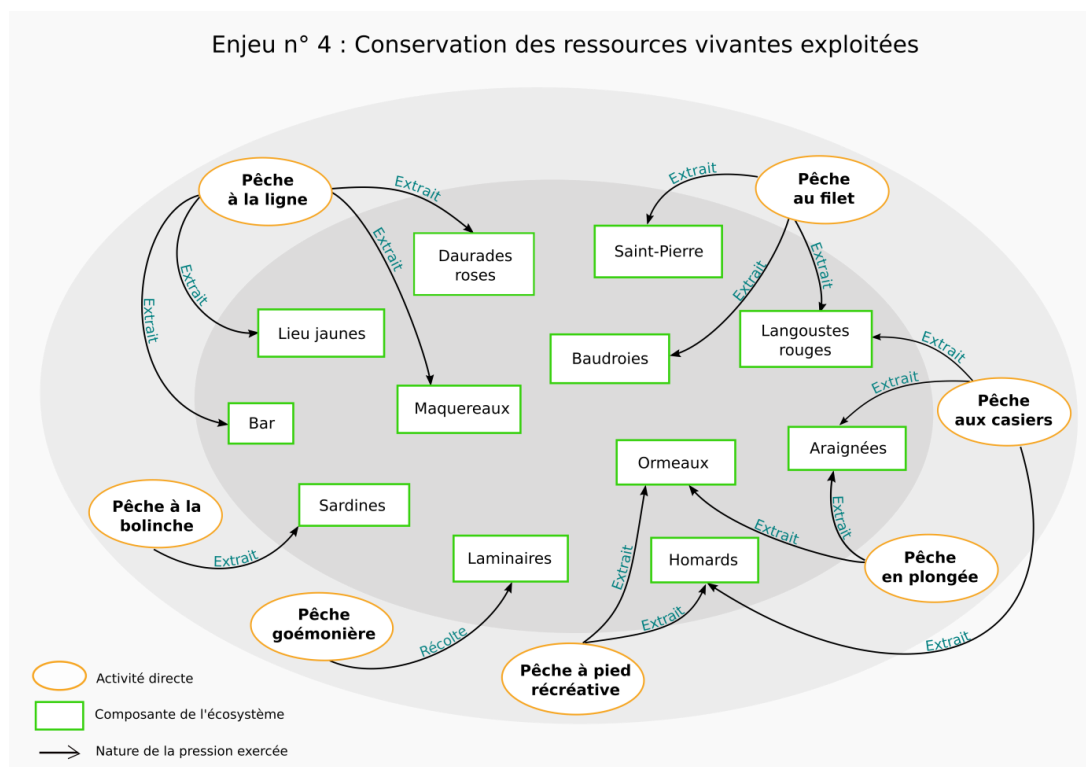


Figure 4. Modèle conceptuel pour l'enjeu de conservation des ressources vivantes exploitées (Roïc, 2015).

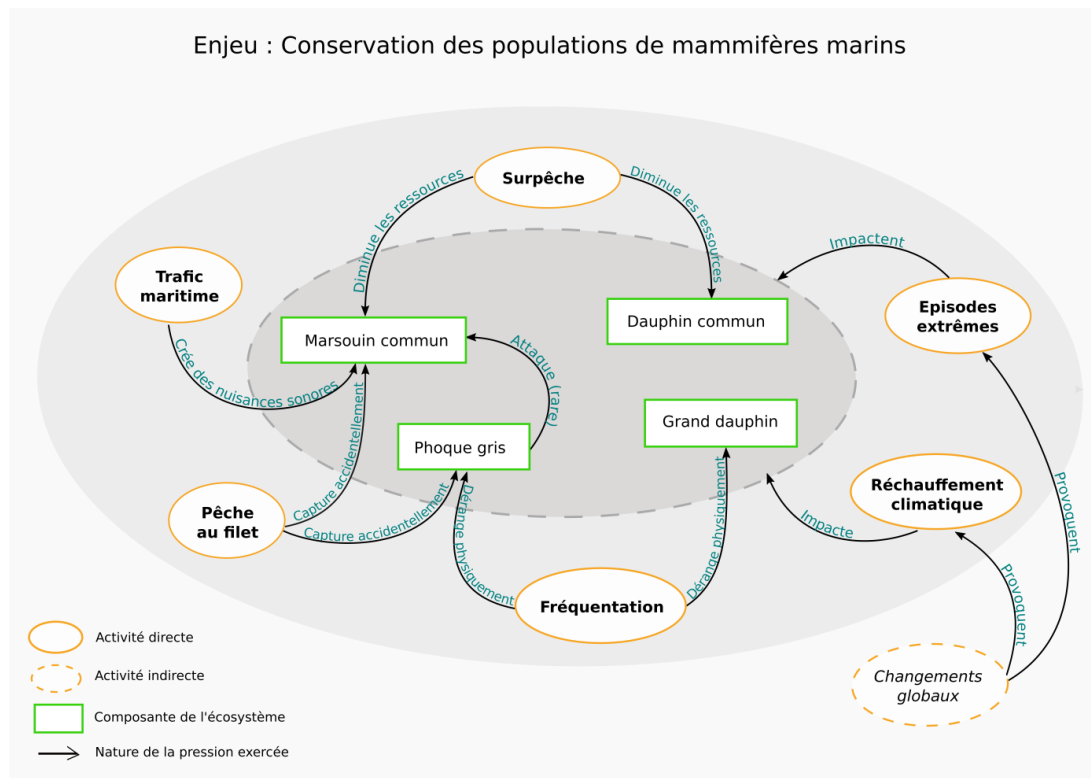


Figure 5. Modèle conceptuel pour l'enjeu de conservation des populations de mammifères marins (Roïc, 2015).

Pressions biologiques
<ul style="list-style-type: none"> Extraction sélective d'espèces <ul style="list-style-type: none"> Captures accidentelles Extraction sélective d'espèces Introduction d'organismes pathogènes <ul style="list-style-type: none"> Contamination bactérienne par E. Coli Pressions biologiques <ul style="list-style-type: none"> Diminution des ressources trophiques
Pressions chimiques
<ul style="list-style-type: none"> Enrichissement en nutriments et en matière organique <ul style="list-style-type: none"> Apports en Azote Introduction de composés synthétiques <ul style="list-style-type: none"> Contamination aux biocides (diuron) Contamination aux organo-chlorées (DDT, PCB) Pollution accidentelles aux hydrocarbures Rejets de macrodéchets
Pressions physiques
<ul style="list-style-type: none"> Autres perturbations physiques <ul style="list-style-type: none"> Dérangement de la faune Extraction sélective de matériaux Perturbations sonores sous-marines Destruction physique d'habitats et fonds marins <ul style="list-style-type: none"> Etouffement/arrachage Ragage Retournement de blocs Interférences avec des processus hydrologiques <ul style="list-style-type: none"> Modifications du régime thermique (Diminution du recrutement de gamétophytes)

Figure 6. Classification des pressions citées selon la typologie utilisée par la DCSMM.

Activités nautiques
Activités de découverte (Jet-ski, balades en mer)
Navigation de plaisance (au mouillage)
Navigation de plaisance (Carénage - Peinture anti-fooling)
Toutes activités nautiques
Activités terrestres
Pêche à pied de loisir
Promenade et randonnée
Apports telluriques
Pollution d'origine agricole
Pollution d'origine domestique et industrielle
Pollution d'origine domestique et industrielle
Aquaculture
Concessions aquacoles (Pisciculture/Conchyliculture)
Changements globaux
Augmentation de la température de l'eau
Evènements extrêmes (tempêtes)
Extraction de ressources minérales
Extraction de sable coquiller
Pêche professionnelle
Pêche à la bolinche
Pêche au filet
Pêche goémonière
Toutes activités de pêche professionnelle
Transport maritime
Transport de commerce
Transport de passagers

Figure 7. Classification des activités citées par le PNMI selon la typologie utilisée par la DCSMM.

Espèces
Cétacés (marsouin commun, dauphin commun)
Cétacés (toutes espèces)
Oiseaux hivernants
Oiseaux nicheurs
Pinnipèdes (Phoque gris - H. grypus)
Poissons (sardines)
Poissons (toutes espèces)
Habitats
Champs de blocs
Dunes hydrauliques
Herbiers de phanérogames marines (Z. marina)
Macro-algues brunes (L. digitata, L. hyperborea)
Macro-algues brunes (L. digitata)
Qualité de l'eau
Qualité chimique
Qualité en sels nutritifs
Qualité microbiologique

Figure 8. Classification des composantes de l'écosystème citées par le PNMI selon la typologie utilisée par la DCSMM.